

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



549285

(43) 国際公開日
2004 年 9 月 30 日 (30.09.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/084289 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/31
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/015679
- (22) 国際出願日: 2003 年 12 月 8 日 (08.12.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-072650 2003 年 3 月 17 日 (17.03.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒107-8481 東京都港区赤坂五丁目3番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山崎 和良 (YAMAZAKI, Kazuyoshi) [JP/JP]; 〒407-0192 山梨県 韮崎

市 穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 青山 真太郎 (AOYAMA, Shintaro) [JP/JP]; 〒407-0192 山梨県 韮崎市 穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 井下 田 真信 (IGETA, Masanobu) [JP/JP]; 〒407-0192 山梨県 韮崎市 穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 神力 博 (SHINRIKI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒270-2242 千葉県 松戸市 仲井町 2 丁目 3 0 番 1 0 号 Chiba (JP).

(74) 代理人: 伊東 忠彦 (ITO, Tadahiko); 〒150-6032 東京都 渋谷区 恵比寿 4 丁目 20 番 3 号 恵比寿ガーデンプレイスタワー 32 階 Tokyo (JP).

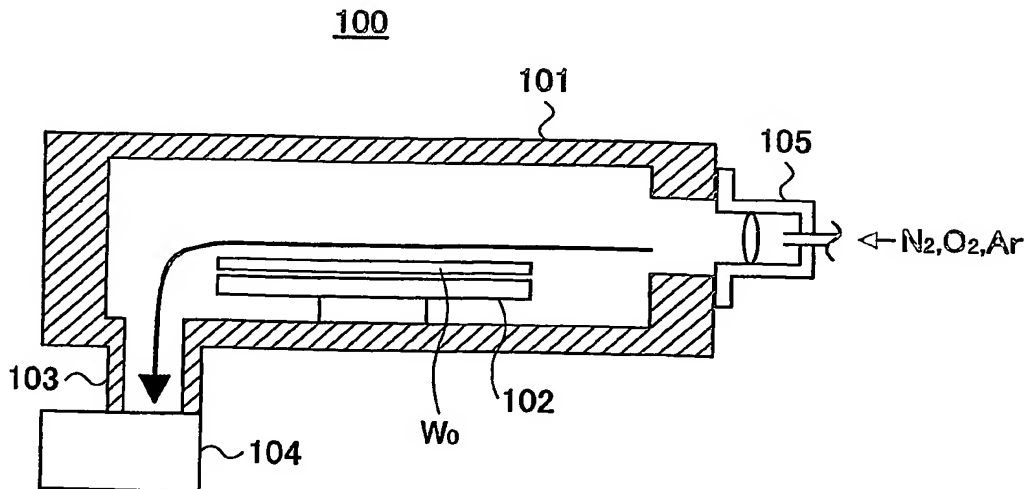
(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: SUBSTRATE TREATING APPARATUS AND METHOD OF SUBSTRATE TREATMENT

(54) 発明の名称: 基板処理装置および基板処理方法



(57) Abstract: It is intended to efficiently nitride an extremely thin oxide film or oxonitride film of 0.4 nm or less thickness while minimizing a film increase. In particular, oxygen radicals are generated through oxygen radical generating mechanism so as to oxidize a silicon substrate with the generated oxygen radicals, thereby forming an oxide film on the silicon substrate, and further nitrogen radicals are generated through nitrogen radical generating mechanism so as to nitride the surface of the oxide film, thereby forming an oxonitride film.

(57) 要約: 非常に薄い、膜厚が 0.4 nm あるいはそれ以下の酸化膜、酸窒化膜を増膜を最小限に抑制して効率よく窒化するため、酸素ラジカル形成機構によって酸素ラジカルを形成し、形成された酸素ラジカルで、シリコン基板を酸化してシリコン基板上に酸化膜を形成し、さらに窒素ラジカル形成機構で窒素ラジカルを形成して、前記酸化膜膜表面を窒化して酸窒化膜を形成する。

WO 2004/084289 A1

明細書

基板処理装置および基板処理方法

5 技術分野

本発明は基板処理装置および基板処理方法に係り、特に高誘電体膜を有する、超微細化高速半導体装置を製造するための基板処理装置および基板処理方法に関する。

10 背景技術

今日の超高速半導体装置では、微細化プロセスの進歩とともに、 $0.1\mu\text{m}$ 以下のゲート長が可能になりつつある。一般に微細化とともに半導体装置の動作速度は向上するが、このように非常に微細化された半導体装置では、ゲート絶縁膜の膜厚を、微細化によるゲート長の短縮に伴って、スケーリング則に従って減少させる必要がある。

しかしゲート長が $0.1\mu\text{m}$ 以下になると、ゲート絶縁膜の厚さも、従来の熱酸化膜を使った場合、 $1\sim 2\text{nm}$ 、あるいはそれ以下に設定する必要があるが、このように非常に薄いゲート絶縁膜ではトンネル電流が増大し、その結果ゲートリーク電流が増大する問題を回避することができない。

このような事情で、比誘電率が従来の熱酸化膜のものよりもはるかに大きく、このため実際の膜厚が大きくても SiO_2 膜に換算した場合の膜厚が小さい Ta_2O_5 や Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、さらには ZrSiO_4 あるいは HfSiO_4 のような高誘電体材料（いわゆるhigh-K材料）をゲート絶縁膜に対して適用することが提案されている。このような高誘電体材料を使うことにより、ゲート長が $0.1\mu\text{m}$ 以下と、非常に短い超高速半導体装置においても 10nm 程度の物理的膜厚のゲート絶縁膜を使うことができ、トンネル効果によるゲートリーク電流を抑制することができる。

例えば従来より Ta_2O_5 膜は $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ および O_2 を気相原料としたCVD法により形成できることが知られている。典型的な場合、CVDプロセスは

減圧環境下、約 480°C 、あるいはそれ以上の温度で実行される。このようにして形成された Ta_2O_5 膜は、さらに酸素雰囲気中において熱処理され、その結果、膜中の酸素欠損が解消され、また膜自体が結晶化する。このようにして結晶化された Ta_2O_5 膜は大きな比誘電率を示す。

- 5 チャンネル領域中のキャリアモビリティを向上させる観点からは、高誘電体ゲート酸化膜とシリコン基板との間に、 1 nm 以下、好ましくは 0.8 nm 以下の厚さのきわめて薄いベース酸化膜を介在させるのが好ましい。ベース酸化膜は非常に薄い必要があり、厚さが厚いと高誘電体膜をゲート絶縁膜に使った効果が相殺される。一方、かかる非常に薄いベース酸化膜は、シリコン基板表面を一様に覆う必要があり、また界面準位等の欠陥を形成しないことが要求される。
- 10

従来より、薄いゲート酸化膜はシリコン基板の急速熱酸化 (RTO) 処理により形成されるのが一般的であるが、熱酸化膜を所望の 1 nm 以下の厚さに形成しようとする、膜形成時の処理温度を低下させる必要がある。しかし、このように低温で形成された熱酸化膜は界面準位等の欠陥を含みやすく、高誘電体ゲート絶縁膜のベース酸化膜としては不適當である。

- 15
- 尚、関連する非特許文献として、Bruce E. Deal, J. Electrochem. Soc. 121.198C(1974)がある。

発明の要約

- 20 しかし、ベース酸化膜を 1 nm 以下、例えば 0.8 nm 以下、さらには $0.3\sim 0.4\text{ nm}$ 前後の厚さで一様に、かつ安定に形成するのは、従来より非常に困難であった。例えば膜厚が $0.3\sim 0.4\text{ nm}$ の場合、酸化膜は $2\sim 3$ 原子層分の膜厚しか有さないことになる。

- また、従来より、原子間結合価数が大きく、いわば「剛性の高い」シリコン単結晶基板表面に直接に、原子間結合価数の小さい、いわば「剛性の低い」金属酸化膜を形成すると、シリコン基板と金属酸化膜の界面が力学的に不安定になり欠陥を発生させる可能性が指摘されており (例えば G. Lucovsky, et al., Appl. Phys. Lett. 74, pp.2005, 1999)、この問題を回避するために、シリコン基板と金属酸化膜との界面に窒素を 1 原子層分導入した酸窒化層を遷移層として形成することが
- 25

提案されている。また、高誘電体ゲート絶縁膜のベース酸化膜として、このように酸化窒化膜を形成することは、高誘電体ゲート絶縁膜中の金属元素あるいは酸素とシリコン基板を構成するシリコンとの相互拡散を抑制したり、電極からのドーパントの拡散を抑制するのに有効であると考えられる。

- 5 図1には、シリコン基板に酸化膜を形成した後、酸化窒化膜を形成する基板処理装置100の例を示す。

図1を参照するに、ドライポンプなどの排気手段104が接続された排気口103によって内部を排気される処理容器101を有する基板処理装置100は、その内部に被処理基板であるウェハW0を保持する基板保持台を有している。

- 10 基板保持台102に載置されたウェハW0は、処理容器101側壁面上に設けられたリモートプラズマラジカル源105から供給されるラジカルにより、酸化もしくは窒化されて、ウェハW0上に酸化膜もしくは酸化窒化膜を形成する。

- 前記リモートプラズマラジカル源は、高周波プラズマにより、酸素ガスもしくは窒素ガスを解離して酸素ラジカルもしくは窒素ラジカルをウェハW0上に供給する。
- 15 する。

- このような酸化窒化膜を形成するにあたり、処理容器でシリコン基板を酸化した後、当該処理容器で窒化処理を行う場合には、前記処理容器中などに残存する酸素や水分などの微量の不純物の影響が無視できなくなり、窒化処理の際に酸化反応を生じ、酸化膜を増膜させてしまうおそれがある。このように酸化窒化処理の際に酸化膜が増膜してしまうと、高誘電体ゲート絶縁膜を使う効果は相殺されてしまう。
- 20 従来より、このように非常に薄い酸化窒化膜を安定に、再現性良く、しかも酸化による増膜を伴うことなく窒化するのは、非常に困難であった。

- また、酸素ラジカルを生成する酸素ラジカル生成部と窒素ラジカルを生成する窒素ラジカル生成部を分離した基板処理装置も提案されている。
- 25 図2には、ラジカル生成部を2つ有する基板処理装置110の例を示す。

図2を参照するに、ドライポンプなどの排気手段120が接続された排気口119によって内部を排気され、基板保持台118が設けられた処理容器111を有する基板処理装置110は、基板保持台118に載置されたウェハW0を、酸

素ラジカルによって酸化し、その後窒素ラジカルによって窒化することが可能な構造となっている。

前記処理容器 1 1 1 には、上壁部に紫外光源 1 1 3 および紫外光を透過する透過窓 1 1 4 が設けられ、ノズル 1 1 5 から供給される酸素ガスを紫外光によって
5 解離して酸素ラジカルを生成する構造となっている。

このようにして形成された酸素ラジカルによって、シリコン基板表面が酸化されて酸化膜を形成する。

さらに、前記処理容器 1 1 1 の側壁にはリモートプラズマラジカル源 1 1 6 が設置され、高周波プラズマによって窒素ガスを解離して、窒素ラジカルを前記処理容器 1 1 1 に供給して、ウェハ W 0 上の酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する。
10

このように、酸素ラジカル生成部と、窒素ラジカル生成部を分離した基板処理装置が提案されている。このような基板処理装置を使うことにより、シリコン基板上に、膜厚が 0.4 nm 前後の酸化膜を形成し、これをさらに窒化して酸窒化膜を形成することが可能となっている。

一方、このようなシリコン基板の酸化処理と窒化処理を連続して行う基板処理装置において、酸化処理と窒化処理とをリモートプラズマラジカル源を使って行
15 いたいとの要望がある。

また、図 2 の基板処理装置を使った場合でも、前記した残留酸素の影響を抑えて酸化による増膜の影響を極力排除するには、酸化処理の後、例えば処理容器内
20 を真空排気して、不活性ガスで満たし、さらに真空排気と不活性ガスを満たす作業を繰り返すパージ作業など、残留酸素の低減のための処理が必要となり、スループットが低下してしまい、生産性が低下してしまうという問題があった。

そこで本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な基板処理装置および基板処理方法を提供することを概括的課題とする。

本発明の具体的な課題は、シリコン基板表面に非常に薄い、典型的には 2 ~ 4 原子層分以下の厚さの酸化膜を形成し、さらにこれを窒化して、当該窒化の際に前記酸化膜の増膜量を抑制して酸窒化膜を形成することのできる、生産性の良好である、基板処理装置および基板処理方法を提供することにある。
25

本発明は、上記の課題を解決するために、

請求の範囲 1 に記載したように、
処理空間を画成する処理容器と、
前記処理空間中の被処理基板を保持する回動自在の保持台と、
前記保持台の回動機構と、

- 5 前記処理容器上、前記保持台に対して第 1 の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成して前記窒素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記被処理基板を隔て対向する第 2 の側に流れるように前記処理空間に供給する窒素ラジカル形成部と、

- 前記第 1 の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成
10 して前記酸素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記第 2 の側に流れるように前記処理空間に供給する酸素ラジカル形成部と、

- 前記第 2 の側の端部に設けられ、前記処理空間を排気する排気経路とを有し、
前記窒素ラジカルおよび酸素ラジカルは、それぞれ前記窒素ラジカル形成部および酸素ラジカル形成部より前記排気経路に向かって前記被処理基板表面に沿った窒素ラジカル流路および酸素ラジカル流路を形成して流れることを特徴とする
15 基板処理装置である。

また、本発明は、請求の範囲 2 に記載したように、請求の範囲 1 に記載の基板処理装置において更に、

- 前記窒素ラジカル形成部は、第 1 のガス通路と前記第 1 のガス通路の一部に形成されて前記第 1 のガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する第 1 の高周波プラズマ形成部とを含み、前記酸素ラジカル形成部は、第 2 のガス通路と前記第 2 のガス通路の一部に形成されて前記第 2 のガス通路を通過する酸素ガスをプラズマ励起する第 2 の高周波プラズマ形成部とを含み、前記第 1 のガス通路と前記第 2 のガス通路が前記処理空間に連通していることが望ましい。

- 25 又、本発明は、請求の範囲 3 に記載したように、請求の範囲 1 または 2 に記載の基板処理装置において更に、

前記窒素ラジカル流路と前記酸素ラジカル流路が略平行であることが望ましい。

また請求の範囲 4 に記載したように、請求の範囲 1 ～ 3 のうちのいずれかに記載の基板処理装置において更に、

前記窒素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心の距離が、40 mm以下となるように前記窒素ラジカル形成部を設置することが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲5に記載したように、請求の範囲1～4のうちのいずれかに記載の基板処理装置において更に、

- 5 前記酸素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心の距離が、40 mm以下となるように前記酸素ラジカル源を設置することが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲6に記載したように、請求の範囲1または2に記載の基板処理装置において更に、

- 10 前記窒素ラジカル流路の中心と、前記酸素ラジカル流路の中心が、前記被処理基板の略中心で交差することが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲7に記載したように、請求の範囲1～6のうちのいずれかに記載の基板処理装置において更に、

前記窒素ラジカル流路を衝突させて前記窒素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けることが望ましい。

- 15 また、本発明は、請求の範囲8に記載したように、請求の範囲1～7のうちのいずれかに記載の基板処理装置において更に、

前記酸素ラジカル流路を衝突させて前記酸素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲9に記載したように、

- 20 処理空間を画成し、前記処理空間中に被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、

前記処理容器に第1のラジカルを、前記第1のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記処理容器の第1の側から前記被処理基板を隔てて対向する第2の側に流れるように供給する第1のラジカル形成部と、

- 25 前記処理空間に第2のラジカルを、前記第2のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第1の側から前記第2の側に流れるように供給する第2のラジカル形成部とを有する基板処理装置による基板処理方法であって、

前記第1のラジカル形成部より前記処理空間に第1のラジカルを供給して前記被処理基板の処理を行いながら、前記第2のラジカル形成部より前記第2のラジ

カル形成部をパージするパージガスを前記処理空間に導入する第１の工程と、

前記第２のラジカル形成部より前記処理空間に前記第２のラジカルを導入して前記被処理基板の処理を行う第２の工程を有することを特徴とする基板処理方法である。

- 5 また、本発明は、請求の範囲１０に記載したように、請求の範囲９に記載の基板処理方法において更に、

前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第１の工程では前記第１のラジカルである酸素ラジカルで前記シリコン基板表面を酸化して酸化膜を形成することが望ましい。

- 10 また、本発明は、請求の範囲１１に記載したように、請求の範囲１０に記載の基板処理方法において更に、

前記第２の工程では前記第２のラジカルである窒素ラジカルで前記酸化膜表面を窒化して酸窒化膜を形成することが望ましい。

- 15 また、本発明は、請求の範囲１２に記載したように、請求の範囲９～１１のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

前記第１のラジカルおよび第２のラジカルは、前記被処理基板の表面にそって前記第１の側から前記第２の側へ流れるガスの流れに乗って供給され、前記第２の側で排気されることが望ましい。

- 20 また、本発明は、請求の範囲１３に記載したように、請求の範囲９～１２のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

前記第１のラジカル形成部は、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成することが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲１４に記載したように、請求の範囲９～１２のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

- 25 前記第１のラジカル形成部は、酸素ラジカルを形成する紫外光源を含むことが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲１５に記載したように、請求の範囲９～１４のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

前記第２のラジカル形成部は、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成する

ことが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 16 に記載したように、請求の範囲 15 に記載の基板処理方法において更に、

- 5 前記第 2 のラジカル形成部は、ガス通路と、前記ガス通路の一部に形成されて前記ガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する高周波プラズマ形成部とを含むことが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 17 に記載したように、請求の範囲 16 に記載の基板処理方法において更に、

前記パージガスは、前記ガス通路を介して供給されることが望ましい。

- 10 また、本発明は、請求の範囲 18 に記載したように、請求の範囲 9～17 のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

前記パージガスは、不活性ガスであることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 19 に記載したように、

- 15 処理容器で被処理基板の第 1 の処理をする第 1 の工程と、
前記被処理基板を前記処理容器より搬出する第 2 の工程と、
前記処理容器の酸素除去処理を行う第 3 の工程と、
前記被処理基板を前記処理容器に搬入する第 4 の工程と、
前記被処理基板の第 2 の処理をする第 5 の工程を有することを特徴とする基板処理方法である。

- 20 また、本発明は、請求の範囲 20 に記載したように、請求の範囲 19 に記載の基板処理方法において更に、

前記酸素除去処理では、処理ガスをプラズマ励起して前記処理容器に導入し、当該処理ガスを前記処理容器より排気することが望ましい。

- 25 また、本発明は、請求の範囲 21 に記載したように、請求の範囲 20 に記載の基板処理方法において更に、

前記処理ガスは、不活性ガスであることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 22 に記載したように、請求の範囲 19～21 のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第 1 の処理は前記シリコン基板表

面を酸化して酸化膜を形成する酸化処理であることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 2 3 に記載したように、請求の範囲 2 2 に記載の基板処理方法において更に、

5 前記第 2 の処理は、前記酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する窒化処理であることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 2 4 に記載したように、請求の範囲 2 3 に記載の基板処理方法において更に、

10 前記処理容器は酸素ラジカル形成部と窒素ラジカル形成部を有し、前記酸素ラジカル形成部により形成された酸素ラジカルにより前記酸化処理を行い、前記窒素ラジカル形成部により形成された窒素ラジカルにより前記窒化処理を行うことが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 2 5 に記載したように、請求の範囲 2 4 に記載の基板処理方法において更に、

15 前記プラズマ励起は、前記窒素ラジカル形成部で行われ、プラズマ励起された処理ガスは前記窒素ラジカル形成部より前記処理容器に導入されることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 2 6 に記載したように、請求の範囲 2 4 または 2 5 に記載の基板処理方法において更に、

20 前記酸素ラジカルおよび前記窒素ラジカルは前記被処理基板に沿うように流れ、前記処理容器の、前記処理容器内に載置される被処理基板の径方向上前記酸素ラジカル形成部および前記窒素ラジカル形成部に対向する側に設けられた、排気口より排気されることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 2 7 に記載したように、請求の範囲 1 9 ～ 2 6 のうちのいずれかに記載の基板処理方法において更に、

25 前記処理容器は、複数の基板処理装置が基板搬送室に接続されたクラスタ型基板処理システムに接続されることが望ましい。

また、本発明は、請求の範囲 2 8 に記載したように、請求の範囲 2 7 に記載の基板処理方法において更に、

前記第 2 の工程において、前記被処理基板は前記処理容器より前記基板搬送室

に搬送されることが望ましい。また、本発明は、請求の範囲 29 に記載したように、請求の範囲 27 または 28 記載の基板処理方法において更に、

前記第 3 の工程において、前記被処理基板は前記基板搬送室に載置されることが望ましい。

- 5 また、本発明は、請求の範囲 30 に記載したように、請求の範囲 27 ～ 29 のうちのいずれかに記載の方法において更に、

前記第 4 の工程において、前記被処理基板は前記搬送室より前記基板処理容器に搬送されることが望ましい。

- 10 このような構成を有する本発明によれば、処理容器でシリコン基板上に非常に薄いベース酸化膜を、酸窒化膜を含めて形成する際に、ベース酸化膜形成時に用いた酸素や酸素化合物などの残留物が、酸窒化膜形成時にシリコン基板の酸化を進行させてベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、さらに生産性も良好となる。

- 15 その結果、半導体装置において用いる場合に適切な非常に薄いベース酸化膜と、当該ベース酸化膜上の適切な窒素濃度の酸窒化膜を、良好な生産性で形成することが可能となる。

- 20 このように、本発明によれば、処理容器でシリコン基板上に非常に薄いベース酸化膜を、酸窒化膜を含めて形成する際に、ベース酸化膜形成時に用いた酸素や酸素化合物などの残留物が、酸窒化膜形成時にシリコン基板の酸化を進行させてベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、さらに生産性も良好となった。

その結果、半導体装置において用いる場合に適切な非常に薄いベース酸化膜と、当該ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜を、良好な生産性で形成することが可能となった。

25 図面の簡単な説明

図 1 は従来の基板処理装置の概略を示す図（その 1）である。

図 2 は従来の基板処理装置の概略を示す図（その 2）である。

図 3 は半導体装置の構成を示す概略図である。

図 4 は本発明による基板処理装置の概略を示す図（その 1）である。

図5は図4の基板処理装置において使われるリモートプラズマ源の構成を示す図である。

図6A、図6Bは、図4の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その1）および平面図（その1）である。

- 5 図7A、図7Bは、図4の基板処理装置を使って行われる酸化膜の窒化処理を示すそれぞれ側面図および平面図である。

図8は被処理基板の窒化の状態を模擬的に示した図である。

図9は被処理基板の酸窒化膜の膜厚分散値を示した図である。

- 10 図10A、図10B、図10Cは、リモートプラズマ源の設置方法を示した図である。

図11は酸窒化膜形成時の残留酸素の影響が多い場合と少ない場合の膜厚と窒素濃度の関係を示す図である。

図12A、図12Bは、図4の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その2）および平面図（その2）である。

- 15 図13は本発明による基板処理装置を示す概略図（その2）である。

図14A、図14Bは、図13の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その1）および平面図（その1）である。

図15A、図15Bは、図13の基板処理装置を使って行われる酸化膜の窒化処理を示すそれぞれ側面図および平面図である。

- 20 図16A、図16Bは、図13の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その2）および平面図（その2）である。

図17は本発明の第9実施例による基板処理方法のフローチャートを示す図である。

- 25 図18は本発明の第10実施例によるクラスタ型基板処理システム50の構成を示す概略図である。

図19は第9実施例の基板処理方法でベース酸化膜を形成し、さらにベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成した場合の膜厚と窒素濃度の関係を示す図である。

図20は図13の基板処理装置を用いてシリコン基板上にベース酸化膜を形成して、さらにベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合に、条件を変化さ

せた場合の膜厚と窒素濃度の関係を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

次に、本発明の実施の形態を図面に基づき、説明する。

- 5 まず、本発明による基板処理装置および基板処理方法によって形成される半導体装置の例を図3に示す。

図3を参照するに、半導体装置200はシリコン基板201上に形成されており、シリコン基板201上には薄いベース酸化膜202を介して、 Ta_2O_5 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 $ZrSiO_4$ 、 $HfSiO_4$ 等の高誘電体ゲート絶縁膜203が形成され、さらに前記高誘電体ゲート絶縁膜203上にはゲート電極204が形成されている。

図3の半導体装置200では、前記ベース酸化膜202の表面部分に、シリコン基板201とベース酸化膜202との間の界面の平坦性が保たれるような範囲で窒素(N)がドーピングされ、酸窒化膜202Aが形成されている。シリコン酸化膜よりも比誘電率の大きい酸窒化膜202Aをベース酸化膜202中に形成することにより、ベース酸化膜202の熱酸化膜換算膜厚をさらに減少させることが可能になる。

以下に、処理容器で前記ベース酸化膜202形成後に、当該処理容器で当該酸窒化膜202Aを形成する際に、前記処理容器中などに残存する酸素や水分などの微量の不純物の影響を排除することにより、窒化処理の際に酸化反応による酸化膜の増膜を抑制でき、かつ効率的な基板処理が可能な、本発明による基板処理装置および基板処理方法の各実施例に関して説明する。

[第1実施例]

図4は、図3のシリコン基板201上に非常に薄いベース酸化膜202を、酸窒化膜202Aを含めて形成するための、本発明の第1実施例による基板処理装置20の概略的構成を示す。

図4を参照するに、基板処理装置20は、ヒータ22Aを備えプロセス位置と基板搬入・搬出位置との間を上下動自在に設けられた基板保持台22を収納し、前記基板保持台22と共に処理空間21Bを画成する処理容器21を備えており、

前記基板保持台 22 は駆動機構 22C により回転される。なお、前記処理容器 21 の内壁面は石英ガラスよりなる内部ライナ 21G により覆われており、これにより、露出金属面からの被処理基板の金属汚染を 1×10^{10} 原子/cm² 以下のレベルに抑制している。

- 5 また前記基板保持台 22 と駆動機構 22C との結合部には磁気シール 28 が形成され、磁気シール 28 は真空環境に保持される磁気シール室 22B と大気環境中に形成される駆動機構 22C とを分離している。磁気シール 28 は液体であるため、前記基板保持台 22 は回転自在に保持される。

- 10 図示の状態では、前記基板保持台 22 はプロセス位置にあり、下側に被処理基板の搬入・搬出のための搬入・搬出室 21C が形成されている。前記処理容器 21 はゲートバルブ 27A を介して基板搬送ユニット 27 に結合されており、前記基板保持台 22 が搬入・搬出 21C 中に下降した状態において、前記ゲートバルブ 27A を介して基板搬送ユニット 27 から被処理基板 W が基板保持台 22 上に搬送され、また処理済みの基板 W が基板保持台 22 から基板搬送ユニット 27 に
15 搬送される。

- 図 4 の基板処理装置 20 では、前記処理容器 21 のゲートバルブ 27A に近い部分に排気口 21A が形成されており、前記排気口 21A にはバルブ 23A および APC (自動圧力制御装置) 23D を介してターボ分子ポンプ 23B が結合されている。前記ターボ分子ポンプ 23B には、さらにドライポンプおよびメカニ
20 カルブースターポンプを結合して構成したポンプ 24 がバルブ 23C を介して結合されており、前記ターボ分子ポンプ 23B およびドライポンプ 24 を駆動することにより、前記処理空間 21B の圧力を $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-4}$ Pa ($10^{-3} \sim 10^{-6}$ Torr) まで減圧することが可能になる

- 一方、前記排気口 21A はバルブ 24A および APC 24B を介して直接にも
25 ポンプ 24 に結合されており、前記バルブ 24A を開放することにより、前記プロセス空間は、前記ポンプ 24 により $1.33 \text{ Pa} \sim 1.33 \text{ kPa}$ ($0.01 \sim 10 \text{ Torr}$) の圧力まで減圧される。

前記処理容器 21 には前記被処理基板 W に対して排気口 21A と対向する側にリモートプラズマ源 26 および 36 が設置されている。

前記リモートプラズマ源 36 は、Ar などの不活性ガスと共に酸素ガスが供給され、これをプラズマにより活性化することにより、酸素ラジカルを形成することが可能である。このようにして形成された酸素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、回動している基板表面を酸化する。

- 5 これにより、前記被処理基板 W の表面に、1 nm 以下の膜厚の、特に 2～3 原子層分の厚さに相当する約 0.4 nm の膜厚のラジカル酸化膜を形成することが可能になる。

- 10 図 4 の基板処理装置 20 では、さらに前記搬入・搬出室 21 C を窒素ガスによりパージするパージライン 21 c が設けられ、さらに前記磁気シール室 22 B を窒素ガスによりパージするパージライン 22 b およびその排気ライン 22 c が設けられている。

- 15 より詳細に説明すると、前記排気ライン 22 c にはバルブ 29 A を介してターボ分子ポンプ 29 B が結合され、前記ターボ分子ポンプ 29 B はバルブ 29 C を介してポンプ 24 に結合されている。また、前記排気ライン 22 c はポンプ 24 とバルブ 29 D を介しても直接に結合されており、これにより磁気シール室 22 B を様々な圧力に保持することが可能になる。

- 20 前記搬入・搬出室 21 C はポンプ 24 によりバルブ 24 C を介して排気され、あるいはターボ分子ポンプ 23 B によりバルブ 23 D を介して排気される。前記処理空間 21 B 中において汚染が生じるのを回避するために、前記搬入・搬出室 21 C は処理空間 21 B よりも低圧に維持され、また前記磁気シール室 22 B は差動排気されることで前記搬入・搬出室 21 C よりもさらに低圧に維持される。

次に、本基板処理装置で用いるリモートプラズマ源 26 および 36 の詳細に関して以下に説明する。

- 25 図 5 は、図 4 の基板処理装置 20 において使われるリモートプラズマ源 26 および 36 の構成を示す。前記処理容器 21 には、リモートプラズマ源 26 とリモートプラズマ源 36 が隣接して設置されている。例えば、前記リモートプラズマ源 36 は、前記リモートプラズマ源 26 に対して、隣接した面に対して略線対称の形状をしている。

図 5 を参照するに、まず、リモートプラズマ源 26 は、内部にガス循環通路 2

6 a とこれに連通したガス入り口 2 6 b およびガス出口 2 6 c を形成された、典型的にはアルミニウムよりなるブロック 2 6 A を含み、前記ブロック 2 6 A の一部にはフェライトコア 2 6 B が形成されている。

5 前記ガス循環通路 2 6 a およびガス入り口 2 6 b、ガス出口 2 6 c の内面にはフッ素樹脂コーティング 2 6 d が施され、前記フェライトコア 2 6 B に巻回されたコイルに周波数が 4 0 0 k H z の高周波 (R F) パワーを供給することにより、前記ガス循環通路 2 6 a 内にプラズマ 2 6 C が形成される。

10 プラズマ 2 6 C の励起に伴って、前記ガス循環通路 2 6 a 中には窒素ラジカルおよび窒素イオンが形成されるが、直進性の強い窒素イオンは前記循環通路 2 6 a を循環する際に消滅し、前記ガス出口 2 6 c からは主に窒素ラジカル N_2^* が放出される。さらに図 5 の構成では前記ガス出口 2 6 c に接地されたイオンフィルタ 2 6 e を設けることにより、窒素イオンをはじめとする荷電粒子が除去され、前記処理空間 2 1 B には窒素ラジカルのみが供給される。また、前記イオンフィルタ 2 6 e を接地させない場合においても、前記イオンフィルタ 2 6 e の構造は
15 拡散板として作用するため、十分に窒素イオンをはじめとする荷電粒子を除去することができる。なお、大量の N_2 ラジカルを必要とするプロセスを実行する場合においては、イオンフィルタ 2 6 e での N_2 ラジカルの衝突による消滅を防ぐため、イオンフィルタ 2 6 e を取り外す場合もある。

同様に、前記リモートプラズマ源 3 6 は、内部にガス循環通路 3 6 a とこれに
20 連通したガス入り口 3 6 b およびガス出口 3 6 c を形成された、典型的にはアルミニウムよりなるブロック 3 6 A を含み、前記ブロック 3 6 A の一部にはフェライトコア 3 6 B が形成されている。

前記ガス循環通路 3 6 a およびガス入り口 3 6 b、ガス出口 3 6 c の内面には
25 フッ素樹脂コーティング 3 6 d が施され、前記フェライトコア 3 6 B に巻回されたコイルに周波数が 4 0 0 k H z の高周波 (R F) パワーを供給することにより、前記ガス循環通路 3 6 a 内にプラズマ 3 6 C が形成される。

プラズマ 3 6 C の励起に伴って、前記ガス循環通路 3 6 a 中には酸素ラジカルおよび酸素イオンが形成されるが、直進性の強い酸素イオンは前記循環通路 3 6 a を循環する際に消滅し、前記ガス出口 3 6 c からは主に酸素ラジカル O_2^* が放

出される。さらに図5の構成では前記ガス出口36cに接地されたイオンフィルタ36eを設けることにより、酸素イオンをはじめとする荷電粒子が除去され、前記処理空間21Bには酸素ラジカルのみが供給される。また、前記イオンフィルタ36eを接地させない場合においても、前記イオンフィルタ36eの構造は
5 拡散板として作用するため、十分に酸素イオンをはじめとする荷電粒子を除去することができる。なお、大量の O_2 ラジカルを必要とするプロセスを実行する場合においては、イオンフィルタ36eでの O_2 ラジカルの衝突による消滅を防ぐため、イオンフィルタ36eを取り外す場合もある。

前記したように、酸素ラジカルを形成する酸素ラジカル形成部と、窒素ラジカルを形成する窒素ラジカル形成部を分離したことにより、被処理基板Wであるシリコン基板を酸化してベース酸化膜を形成した後、当該ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合、窒化工程における残留酸素の影響が少なくなる。
10

例えば、同一のラジカル源で、まず酸素ラジカルでシリコン基板の酸化を行い、連続的に窒素ラジカルを用いた窒化をおこなうと、当該ラジカル源に、酸化の際
15 に用いた酸素や酸素を含む生成物が残留し、窒化工程において、残留した酸素による酸化が進行してしまい、酸化膜の増膜が起こる問題がある。

本実施例の場合は、前記したようなラジカル形成部の残留酸素によって窒化工程においてシリコン基板の酸化が進んでしまう酸化膜の増膜現象の影響を抑えることが可能となり、その結果、図3中の前記ベース酸化膜202の増膜が少ない、
20 理想的なベース酸化膜および酸窒化膜を形成することができる。

また、前記したような残留酸素の影響があった場合、酸化が促進されて増膜が生じる一方で、前記酸窒化膜202Aの窒素濃度が低くなってしまう場合があるが、前記基板処理装置20の場合、残留酸素の影響が少なくなるため、窒化が進行し、所望の窒素濃度に調整することが可能となる。

25 また、本発明による基板処理装置20の場合、窒素ラジカルを生成するリモートプラズマ源26と、酸素ラジカルを生成するリモートプラズマ源36のラジカル発生機構が同一であるため、ラジカル源を分離しながらも構造が単純となり、基板処理装置のコストを低減させることができる。また、メンテナンスも容易となるため、基板処理装置の生産性を向上させることが可能となる。

次に、本発明の第2実施例として、前記基板処理装置20により、図3のシリコン基板202上に非常に薄いベース酸化膜202を、酸化窒化膜202Aを含めて形成する方法について、図面に基づき、説明する。

[第2実施例]

- 5 図6A、図6Bは、それぞれ図4の基板処理装置20を使って被処理基板Wのラジカル酸化を行う場合を示す側面図および平面図である。

- 図6A、図6Bを参照するに、リモートプラズマラジカル源36にはArガスと酸素ガスが供給され、プラズマを数100kHzの周波数で高周波励起することにより酸素ラジカルが形成される。形成された酸素ラジカルは前記被処理基板
10 Wの表面に沿って流れ、前記排気口21Aおよびポンプ24を介して排気される。その結果前記処理空間21Bは、基板Wのラジカル酸化に適当な、1.33Pa～1.33kPa(0.01～10Torr)の範囲のプロセス圧に設定される。特に6.65Pa～133Pa(0.05～1.0Torr)の圧力範囲を使うのが好ましい。このようにして形成された酸素ラジカルは、前記被処理基板Wの
15 表面に沿って流れる際に、回動している被処理基板Wの表面を酸化して、前記被処理基板Wであるシリコン基板表面に1nm以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に2～3原子層に相当する約0.4nmの膜厚の酸化膜を、安定に再現性良く形成することが可能になる。

- 図6A、図6Bの酸化工程では、酸化工程に先立ちパージ工程を行うことも可能である。前記パージ工程では前記バルブ23Aおよび23Cが開放され、バルブ24Aが閉鎖されることで前記処理空間21Bの圧力が 1.33×10^{-1} ～ 1.33×10^{-4} Paの圧力まで減圧され、処理空間21B中に残留している水分などがパージされる。
20

- なお、酸化処理においては、排気経路として、ターボ分子ポンプ23Bを経由する場合と、しない場合との計2通りが考えられる。
25

バルブ23Aおよび23Cが閉鎖される場合はターボ分子ポンプ23Bを使用せずにバルブ24Aを開き、ドライポンプ24のみを利用する。この場合はパージする際に残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことで残留ガスを排除しやすい利点がある。

また、バルブ 2 3 A および 2 3 C を開放してバルブ 2 4 A を閉鎖してターボ分子ポンプ 2 3 B を排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

- 5 このように、図 4 の基板処理装置 2 0 を使うことにより、被処理基板 W の表面に非常に薄い酸化膜を形成し、当該酸化膜表面を次に図 7 A、図 7 B で後述するようにさらに窒化することが可能になる。

[第 3 実施例]

- 10 図 7 A、図 7 B は、本発明の第 3 実施例として、それぞれ図 4 の基板処理装置 2 0 を使って被処理基板 W のラジカル窒化を行う場合を示す側面図および平面図である。

- 15 図 7 A、図 7 B を参照するに、リモートプラズマラジカル源 2 6 には A r ガスと窒素ガスが供給され、プラズマを数 1 0 0 k H z の周波数で高周波励起することにより窒素ラジカルが形成される。形成された窒素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、前記排気口 2 1 A およびポンプ 2 4 を介して排気される。その結果前記処理空間 2 1 B は、基板 W のラジカル窒化に適当な、1 . 3 3 P a ~ 1 . 3 3 k P a (0 . 0 1 ~ 1 0 T o r r) の範囲のプロセス圧に設定される。特に 6 . 6 5 ~ 1 3 3 P a (0 . 0 5 ~ 1 . 0 T o r r) の圧力範囲を使うのが好ましい。このようにして形成された窒素ラジカルは、前記被処理基板 W の表面
20 に沿って流れる際に、回転している被処理基板 W の表面を窒化する。

- 25 図 7 A、図 7 B の窒化工程では、窒化工程に先立ち、パージ工程を行うことも可能である。前記パージ工程では前記バルブ 2 3 A および 2 3 C が開放され、バルブ 2 4 A が閉鎖されることで前記処理空間 2 1 B の圧力が 1 . 3 3 × 1 0 ⁻¹ ~ 1 . 3 3 × 1 0 ⁻⁴ P a の圧力まで減圧され、処理空間 2 1 B 中に残留している酸素や水分がパージされる。

窒化処理においても、排気経路としてターボ分子ポンプ 2 3 B を経由する場合と、しない場合との計 2 通りが考えられる。

バルブ 2 3 A および 2 3 C が閉鎖される場合はターボ分子ポンプ 2 3 B を使用せずにバルブ 2 4 A を開き、ドライポンプ 2 4 のみを利用する。この場合はパー

ジする際に残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことで残留ガスを排除しやすい利点がある。

また、バルブ 2 3 A および 2 3 C を開放してバルブ 2 4 A を閉鎖してターボ分子ポンプ 2 3 B を排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

このように、図 4 の基板処理装置 2 0 を使うことにより、被処理基板 W の表面に非常に薄い酸化膜を形成し、その酸化膜表面をさらに窒化することが可能になる。

10 [第 4 実施例]

ところで、前記した被処理基板 W 上の酸化膜の窒化工程において、リモートプラズマ源 2 6 によって生成された窒素ラジカルは、前記リモートプラズマ源 2 6 の前記ガス出口 2 6 c より前記処理容器 2 1 内部、前記処理空間 2 1 B に供給されて、前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、さらに前記排気口 2 1 A に向かう窒素ラジカル流路を形成する。

本発明の第 4 実施例として、前記したような窒素ラジカル流路が形成される様子を模式的に示したものを図 8 に示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

図 8 は、前記リモートプラズマ源 2 6 および前記被処理基板 W の位置関係を、前記ガス出口 2 6 c より供給される窒素ラジカルが形成する窒素ラジカル流路 R 1、およびその結果として前記被処理基板 W 上に形成されるラジカル分布と共に概略的に示す。

図 8 を参照するに、前記ガス出口 2 6 c から供給された窒素ラジカルは、当該ガス出口 2 6 c から前記排出口 2 1 A に向かう窒素ラジカル流路 R 1 を形成する。ここで前記被処理基板 W の中心をウェハ中心 C とし、前記ウェハ中心 C を通って直行する x 軸と y 軸を、前記リモートプラズマ源 2 6 が設置される前記処理容器 2 1 の第 1 の側から前記排気口 2 1 A の設けられた前記処理容器 2 1 の第 2 の側に向かう軸を x 軸とし、直行する軸を y 軸と設定する。

また、前記窒素ラジカル流路 R 1 が、前記被処理基板 W の酸化膜を窒化する範

囲を領域S 1で示す。この場合、被処理基板Wは回転していないものとする。

この場合、前記領域S 1のx軸方向の長さX 1は、窒素ラジカルの流量、すなわち前記リモートプラズマ源2 6に導入される窒素の流量にほぼ依存すると考えられる。

- 5 また、前記窒素ラジカル流路R 1が、前記被処理基板W上を通過する際の前記窒素ラジカル流路R 1の中心と前記ウェハ中心Cの距離をY 1とすると、前記被処理基板Wを回転させた場合の前記被処理基板W上の酸化膜の膜厚の分散値 σ は、前記距離X 1と距離Y 1に依存すると考えられる。

- 10 次に、前記距離X 1および距離Y 1を変化させた場合の、酸化膜の膜厚分散値 σ を算定した結果を図9に示す。なお、図9は被処理基板Wに300mmのシリコンウェハを用いた場合である。

- 15 図9を参照するに、横軸は前記距離X 1を示し、縦軸は酸化膜の膜厚分散値 σ を示す。系列1は前記距離Y 1が0mmの場合、同様に系列2は距離Y 1が20mm、系列3は距離Y 1が40mm、系列4は距離Y 1が60mm、系列5は距離Y 1が100mm、系列6は距離Y 1が150mmの場合を示す。

まず、距離Y 1が0の場合、すなわち前記窒素ラジカル流路R 1の中心が前記ウェハ中心Cを通過する場合であって、かつ前記距離X 1が100mmの場合に最も前記分散値 σ が小さく、酸化膜の膜厚分布が良好である。

- 20 次に、それぞれの距離Y 1の値に対して距離X 1を変化させた場合に、最も分散値 σ が小さくなる点をつないだ曲線を図中Uで示すが、前記距離Y 1の値が大きくなるにしたがい、前記分散値 σ が最も小さくなる距離X 1の値が大きくなる傾向にある。また、距離Y 1が100mm、150mmの場合は前記ラジカル流路R 1の中心が前記ウェハ中心Cより大きく離れてしまうためこの傾向はあてはまらず、前記分散値 σ の値が極端に大きくなっている。

- 25 例えば、前記基板処理装置20によって形成される酸化膜および酸化膜を、前記半導体装置200の前記ベース酸化膜202および酸化膜202Aに用いることを考えた場合、前記分散値 σ が1%以下である場合に酸化膜の膜厚分布が良好であり、半導体装置の形成に用いることが可能である。

そこで図9をみると、距離Y 1が40mm以下の場合に σ が1%以下となる距

離X 1の値が存在し、良好な酸窒化膜の膜厚分布を得ることが可能であると考えられる。

このように、酸窒化膜の膜厚分布は、前記窒素ラジカル流路R 1の形成方法、すなわち前記窒素ラジカル流路R 1の形成に関わる前記リモートプラズマ源2 6
5 の設置方法に大きく依存している。前記したように、理想的には、前記窒素ラジカル流路R 1が前記被処理基板Wの中心を通過するように前記リモートプラズマ源2 6を設置するのがよい。

但し、リモートプラズマ源3 6を用いた前記被処理基板Wの酸化工程を考えると、以下の理由で、リモートプラズマ源3 6と設置場所が干渉してしまうことが
10 考えられる。

酸素ラジカルが前記リモートプラズマ源3 6のガス出口3 6 cから前記排気口2 1 Aに向かって形成する、被処理基板Wに沿った酸素ラジカル流路R 2によって酸化される領域は、前記領域S 1と同様の傾向を示す。このため、形成される酸化膜の膜厚分布が最も良好となる前記リモートプラズマ源3 6の設置場所は、
15 前記したx軸上になり、前記リモートプラズマ源2 6をx軸上に設置しようとすると、前記リモートプラズマ源3 6と干渉してしまう。

そこで、前記リモートプラズマ源2 6および3 6が干渉せず、かつ形成される酸化膜と酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるよう、前記リモートプラズマ源2 6および3 6を設置することが必要となる。

20 [第5実施例]

図1 0 A、図1 0 B、図1 0 Cは、本発明の第5実施例として、前記リモートプラズマ源2 6および3 6を前記処理容器2 1に設置する設置方法を示した図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

25 まず、図1 0 Aを参照するに、前記リモートプラズマ源2 6および3 6が隣接し、前記窒素ラジカル流路R 1と前記酸素ラジカル流路R 2が平行となるように前記処理容器2 1に設置されている。

この場合、前記したように、前記Y 1が小さいほど酸窒化膜の膜厚分布が良好となるので、前記Y 1、すなわちx軸上からの前記リモートプラズマ源2 6のオ

フセット量をできるだけ小さくし、40 mm以下とすることで酸化膜の膜厚の分散値 σ_1 が1%以下となることを達成することが可能となる。

また、同様に、前記酸素ラジカル流路R2の中心と前記ウェハ中心Cの距離X2をできるだけ小さくするほど酸化膜の膜厚分布が良好となるため、Y2の値すなわちx軸上からの前記リモートプラズマ源36のオフセット量をできるだけ小さくし、40 mm以下とすることで酸化膜の膜厚の分散値 σ_2 が1%以下となることを達成することが可能となると予想される。

次に図10Bを参照するに、図10Bの場合には、例えば前記リモートプラズマ源36が前記x軸上に設置され、前記酸素ラジカル流路R2の中心が前記ウェハ中心Cを通過するよう設置されている。前記リモートプラズマ源26は、前記リモートプラズマ源36より離れたところに設置されるが、以下に示すように前記窒素ラジカル流路R1の中心が前記ウェハ中心Cを通過するようにしている。

前記リモートプラズマ源26のガス出口26c付近に、ガス整流板26fを設置して窒素ラジカル流路R1の向きを変更している。すなわち、前記ガス出口26cから供給される前記窒素ラジカル流路R1を前記ガス整流板26fに衝突させ、さらに前記窒素ラジカル流路R1を当該ガス整流板26fに沿った流れ、例えば図中に示すようにx軸に対して θ_1 の角度を形成する流れとして、向きが変更された後の窒素ラジカル流路R1の中心が前記ウェハ中心Cを通過するようにしている。

この場合、前記窒素ラジカル流路R1と前記酸素ラジカル流路R2の双方の中心がともに前記ウェハ中心Cを通過するため、前記被処理基板W上に形成される酸化膜および酸化膜の双方の膜厚分布が良好となる。

また、前記リモートプラズマ源26と36を離れたところに設置できるために、設計やレイアウトの自由度が上がり、さらに前記 θ_1 の角度を変更した整流板を用いることで、様々な位置に前記リモートプラズマ源26を設置することが可能となる。

さらに前記リモートプラズマ源26を前記x軸上に配して、前記リモートプラズマ源36のガス出口36c付近に整流板を設置することも可能であり、この場合も同様にして、前記窒素ラジカル流路R1と前記酸素ラジカル流路R2の双方

の中心がともに前記ウェハ中心Cを通過し、前記被処理基板W上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

5 その上、前記リモートプラズマ源26、36を共にx軸から離れたところに配して、それぞれのガス出口26C、36C付近に整流板を設置することも可能であり、この場合も同様にして前記窒素ラジカル流路R1と前記酸素ラジカル流路R2の双方の中心が共に前記ウェハ中心Cを通過し、前記被処理基板W上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

10 このようにすれば、設計やレイアウトの自由度がさらに上がり、前記θ1の角度を変更した2つの整流板を用いることで様々な位置にリモートプラズマ源26、36を設置することが可能となる。

また、整流板をリモートプラズマ源の内部、すなわちガス出口の内側に設置することも可能である。この場合処理容器21の内部に整流板の設置場所を確保することが不要となる。

15 さらに、前記窒素ラジカル流路R1の向きを変更する方法の例として、図10Cに示す方法をとることも可能である。

図10Cを参照するに、本図においては図10Bの場合と同様に、例えば前記リモートプラズマ源36が前記x軸上に設置され、前記酸素ラジカル流路R2の中心が前記ウェハ中心Cを通過するよう設置されている。前記リモートプラズマ源26は、前記リモートプラズマ源36より離れたところに設置されるが、以下に示すように前記窒素ラジカル流路R1の中心が前記ウェハ中心Cを通過するようになっている。

25 この場合、前記リモートプラズマ源26のガス出口26cから供給される前記窒素ラジカル流路R1が、前記x軸に対して例えばθ2の角度を形成するよう前記リモートプラズマ源26がx軸に対して傾けて設置され、前記窒素ラジカル流路R1の中心が前記ウェハ中心Cを通過する構造となっている。

そのため、前記窒素ラジカル流路R1と前記酸素ラジカル流路R2の双方の中心がともに前記ウェハ中心Cを通過するため、前記被処理基板W上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となる。

また、前記リモートプラズマ源 26 と 36 を離れたところに設置できるために、設計やレイアウトの自由度が上がり、さらに前記 θ 2 の角度を変更することで前記リモートプラズマ源 26 の設置場所を様々に変更することが可能となる。

さらに前記リモートプラズマ源 26 を前記 x 軸上に配して、前記リモートプラズマ源 36 を前記 x 軸に対して傾けて設置することも可能であり、この場合も同様に、前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過し、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

その上、前記リモートプラズマ源 26、36 をともに x 軸から離れたところに配して、それぞれ前記 x 軸に対して傾けて設置することも可能であり、この場合も同様に前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過し、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

このようにすれば設計レイアウトや自由度がさらに上がり前記 θ 2 の角度をそれぞれ変更することで前記リモートプラズマ源 26、36 の設置場所を様々に変更することが可能である。

また、図 10 B および図 10 C に前記した方法により、前記窒素ラジカル流路 R 1 または酸素ラジカル流路 R 2 の向きを変更した場合、向きを変更した後の前記 R 1 または R 2 が前記ウェハ中心 C を通過するのが最も酸窒化膜および酸化膜の膜厚分布が良好であるが、前記 R 1 または R 2 と前記ウェハ中心 C の距離が 40 mm 以下であれば、酸窒化膜または酸化膜の膜厚分散値 σ は 1 % 以下を確保することができると考えられる。

また、図 10 B に示したような整流板と、図 10 C に示したリモートプラズマ源を x 軸に対して傾けて設置する方法を組み合わせることも可能であり、その場合さらに様々な場所に前記リモートプラズマ源 26 および 36 を設置してさらに前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好とすることができる。

[第 6 実施例]

次に、本発明の第 6 実施例について説明する。前記したように、処理容器にお

いて、シリコン基板を酸化して酸化膜を形成し、当該処理容器で当該酸化膜を窒化して酸化窒化膜を形成する場合、酸化の工程において用いた酸素および酸素を含む残留物の影響で窒化処理の際に酸化反応を生じ、酸化膜を増膜させてしまうおそれがある。このように酸化窒化処理の際に酸化膜が増膜してしまうと、前記図 3
5 に示した高誘電体ゲート絶縁膜を使う効果は相殺されてしまう。

そこで、高誘電体ゲート絶縁膜のベース酸化膜および当該酸化膜上の酸化窒化膜を形成する際は、ベース酸化膜の増膜の影響を排して窒化を行う事が重要である。このような酸化窒化膜形成の、残留酸素の影響が多い場合と少ない場合のモデルの例を図 11 に示す。図 11 のグラフは、横軸がシリコン基板上に形成される酸化膜と酸化窒化膜の厚さを加えた、形成される合計の膜厚を示し、縦軸が形成される酸化窒化膜の窒素濃度を示している。
10

まず、残留酸素の影響が大きい場合、図中に示した F 0 の場合は以下のようになる。F 0 上の点で、シリコン基板上にベース酸化膜を形成した時点をもととし、a における膜厚を T_1 、窒素濃度を C_1 とする。この場合は窒化工程前であるので窒素濃度は測定限界下の値である。
15

次に、前記ベース酸化膜を窒化して当該ベース酸化膜上に酸化窒化膜を形成した状態が b' である。 b' における膜厚は T_2' 、窒素濃度は C_2' である。さらに b' の状態から窒化を進めた状態が c' であり、膜厚は T_3' 、窒素濃度が C_3' となる。

20 このように、F 0 のケースでは酸化膜を窒化することで窒素濃度が上昇するが膜厚の増加、例えば $T_3' - T_1$ の値が後述の残留酸素が少ない場合に比べて大きくなると予想される。また、窒素濃度の上昇も後述する残留酸素の影響が少ない場合に比べて小さくなると考えられる。

次に、残留酸素の影響が少ない場合、図中に示した F 1 の場合も同様にして、シリコン基板上にベース酸化膜を形成した時点をもととし、窒化した状態を b とし、 b よりさらに窒化を進めた状態を c で示す。前記 F 1 の場合は、 b の状態での膜厚増加が少なく、さらに c の状態まで進めた場合の膜厚増加 $T_3 - T_1$ の値が、前記 F 0 の場合に比べて少ないと予想される。
25

また、窒素濃度 C_2 および C_3 も、前記した C_2' 、 C_3' に比べて高い。これ

は、前記F 1の場合は、処理容器中などの残留酸素の影響が少ないため、窒化工程において、残留酸素によるシリコン基板の酸化が促進されることが無く、またそのために窒化が進行しやすい為に窒素濃度が高い酸窒化膜を形成することが可能である。

- 5 すなわち、処理容器中の残留酸素の影響を排することで、高誘電体ゲート絶縁膜のゲート酸化膜のベース酸化膜として好ましい厚さ、例えば約0.4 nm以下を確保しながら、当該ベース酸化膜上に所望の値の酸窒化膜を形成することが可能となると考えられる。

- 10 例えば前記基板処理装置20の場合、酸化に用いる酸素ラジカルを形成するラジカル源と、窒化に用いる窒素ラジカルを形成するラジカル源は分離されているが、それでも酸素ラジカルを形成する際に用いる酸素および酸素を含む残留物の影響が完全に排除できるわけではない。

次に、具体的に、残留酸素の影響を抑える方法に関して以下に説明する。

[第7実施例]

- 15 図12A、図12Bは、本発明の第7実施例として、それぞれ図4の基板処理装置20を使い、被処理基板Wのラジカル酸化を行う方法を示す側面図および平面図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。本実施例の場合は、本図に示す酸化工程の後の窒化工程の際に、残留酸素の影響が少なく、ベース酸化膜の増膜が少ないという特徴をもっている。

- 20 本図においては、前記図6A、図6Bに示した場合と同様に、シリコン基板を酸化してベース酸化膜を形成するが、前記図6A、図6Bに示した場合と異なる点は、前記リモートプラズマラジカル源36より酸素ラジカルが前記処理空間21Bに供給される際に、同時に前記リモートプラズマ源26より、例えばArなどのパージガスが前記処理空間21Bに供給されることである。前記したパージ
- 25 ガスが供給される以外は、図6A、図6Bの場合と同一である。

前記したように、シリコン基板を酸化してベース酸化膜を形成する工程では、酸素ラジカルを用いるため、前記したように前記処理空間21Bには前記リモートプラズマ源36より酸素ラジカルが導入される。その際に、前記リモートプラズマ源26の前記ガス出口26cより酸素ラジカルや、例えばH₂Oなどの酸素を

含む副生成物が逆流してしまう場合がある。

このように、酸素ラジカルや酸素を含む副生成物が逆流してしまうと、例えば図7A、図7Bに示す窒化工程において、ベース酸化膜の増膜や、窒素濃度の低下といった問題を引き起こす場合がある。

- 5 そのため、本実施例では前記リモートプラズマ源26より前記処理空間21Bにパージガスを導入して、酸素や、酸素を含む生成物が前記リモートラジカル源26に逆流するのを防止している。

- 10 また、前記したようリモートプラズマ源26へ逆流した酸素や酸素を含む生成物を排除するために、例えば真空パージや不活性ガスによるガスパージを行う方法がある。

例えば真空パージは、前記した酸化工程終了後に、前記処理空間を低圧（高真空）状態に排気して、前記処理空間21Bや前記リモートプラズマ源26に残留した酸素や酸素を含む生成物を除去する方法である。

- 15 ガスパージは、同様に前記した酸化工程終了後に、前記処理空間21Bに不活性ガスを導入して前記処理空間21Bや前記リモートプラズマ源26に残留した酸素を除去する方法である。

- 20 通常は前記真空パージとガスパージを組み合わせで数回行われる。しかし前記した真空パージとガスパージを行うと、処理時間を要するために、基板処理装置20のスループットが低下して生産性が低下する問題がある。また、真空パージを行うためには、例えばターボ分子ポンプなどの排気速度の大きい高価な排気手段を要するために、装置のコストアップにつながるという問題がある。

本実施例では、装置のスループットを低下させることなく、前記したような残留酸素の影響を排除することが可能となる。

- 25 また、図12A、図12Bに示した酸化工程の後は、図7A、図7Bで前記した窒化工程を行い、ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する。その際に、前記したように前記リモートプラズマ源26への酸素の逆流の影響を排除しているため、残留した酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

その結果、図3で前記した、前記半導体装置200において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば0.4nm程度のベース酸化膜202と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜202Aを形成することが可能となる。

5 なお、本実施例において用いるパージガスは、不活性ガスであれば良く、前記したArガスの他に、窒素、ヘリウムなど用いることが可能である。

また、前記したベース酸化膜の形成の際の酸化工程においてパージガスを用いて残留酸素の影響を減じる方法を、他の装置において実施することも可能である。例えば、酸素ラジカルを生成するためのラジカル源に、紫外光源を搭載した以下に示す基板処理装置20Aにおいても実施することが可能である。

10 [第8実施例]

図13は、本発明の第8実施例として、図3のシリコン基板201上に非常に薄いベース酸化膜202を、酸窒化膜202Aを含めて形成するための、基板処理装置20Aの概略的構成を示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

15 図13を参照するに、本図に示す基板処理装置20Aの場合は、図4に示した前記基板処理装置20の場合に比べて異なる点は、まず前記処理容器21に、被処理基板Wを隔てて前記排気口21Aと対向する側に酸素ガスを供給する処理ガス供給ノズル21Dが設けられており、前記処理ガス供給ノズル21Dに供給された酸素ガスは、前記プロセス空間21B中を前記被処理基板Wの表面に沿って
20 流れ、前記排気口21Aから排気される構造となっていることである。

また、このように前記処理ガス供給ノズル21Dから供給された処理ガスを活性化し酸素ラジカルを生成させるため、前記処理容器21上、前記処理ガス供給ノズル21Dと被処理基板Wとの間の領域に対応して石英窓25Aを有する紫外光源25が設けられる。すなわち前記紫外光源25を駆動することにより前記処理ガス供給ノズル21Dからプロセス空間21Bに導入された酸素ガスが活性化
25 され、その結果形成された酸素ラジカルが前記被処理基板Wの表面に沿って流れる。これにより、回転している前記被処理基板Wの表面に、1nm以下の膜厚の、特に2～3原子層分の厚さに相当する約0.4nmの膜厚のラジカル酸化膜を形成することが可能になる。

また前記処理容器 21 には前記被処理基板 W に対して排気口 21A と対向する側にリモートプラズマ源 26 が形成されている。そこで前記リモートプラズマ源 26 に Ar などの不活性ガスと共に窒素ガスを供給し、これをプラズマにより活性化することにより、窒素ラジカルを形成することが可能である。このようにして形成された窒素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、回転している被処理基板表面を窒化する。

なお、前記基板処理装置 20A では、酸素ラジカルの生成に前記紫外光源 25 を用いているため、前記基板処理装置 20 のように前記リモートプラズマ源 36 は設置されていない。

図 14A、図 14B は、それぞれ図 13 の基板処理装置 20A を使って通常の方法で被処理基板 W のラジカル酸化を行う場合を示す側面図および平面図である。

図 14A を参照するに、前記プロセス空間 21B 中には処理ガス供給ノズル 21D から酸素ガスが供給され、被処理基板 W の表面に沿って流れた後、排気される。排気経路としてはターボ分子ポンプ 23B を経由する場合、しない場合の 2通りが考えられる。

バルブ 23A および 23C が閉鎖される場合はターボ分子ポンプ 23B を使用せずにバルブ 24A を開き、ドライポンプ 24 のみを利用する。この場合は残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことでガスを排除しやすい利点がある。

また、バルブ 23A および 23C を開放してバルブ 24A を閉鎖してターボ分子ポンプ 23B を排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

これと同時に、好ましくは 172nm の波長の紫外光を発生する紫外光源 25 を駆動することにより、このようにして形成された酸素ガス流中に酸素ラジカルが形成される。形成された酸素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れる際に、回転している基板表面を酸化する。このような被処理基板 W の紫外光励起酸素ラジカルによる酸化（以下 UV-O₂ 処理）により、シリコン基板表面に 1nm 以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に 2～3 原子層に相当する約 0.4nm

mの膜厚の酸化膜を、安定に再現性良く形成することが可能になる。

図14Bは図14Aの構成の平面図を示す。

図14Bを参照するに、紫外光源25は酸素ガス流の方向に交差する方向に延在する管状の光源であり、ターボ分子ポンプ23Bが排気口21Aを介してプロセス空間21Bを排気するのがわかる。一方、前記排気口21Aから直接にポンプ24に至る、図14B中に点線で示した排気経路は、バルブ23A、23Cを閉鎖することにより、達成される。

次に、図15A、図15Bは、それぞれ図13の基板処理装置20Aを使って被処理基板Wのラジカル窒化（RF-N₂処理）を行う場合を示す側面図および平面図である。

図15A、図15Bを参照するに、リモートプラズマラジカル源26にはArガスと窒素ガスが供給され、プラズマを数100kHzの周波数で高周波励起することにより窒素ラジカルが形成される。形成された窒素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れ、前記排気口21Aおよびポンプ24を介して排気される。その結果前記プロセス空間21Bは、基板Wのラジカル窒化に適当な、1.33Pa～1.33kPa（0.01～10Torr）の範囲のプロセス圧に設定される。特に6.65～133Pa（0.05～1.0Torr）の圧力範囲を使うのが好ましい。このようにして形成された窒素ラジカルは、前記被処理基板Wの表面に沿って流れる際に、回転している被処理基板Wの表面を窒化する。

図15A、図15Bの窒化工程では、窒化工程に先立ち、パージ工程を行っても良い。前記パージ工程では、前記バルブ23Aおよび23Cが開放され、バルブ24Aが閉鎖されることで前記処理空間21Bの圧力が 1.33×10^{-1} ～ 1.33×10^{-4} Paの圧力まで減圧され、処理空間21B中に残留している酸素や水分がパージされるが、窒化処理においても、排気経路としてターボ分子ポンプ23Bを経由する場合、しない場合の2通りが考えられる。

バルブ23Aおよび23Cが閉鎖される場合はターボ分子ポンプ23Bを使用せずにバルブ24Aを開き、ドライポンプ24のみを利用する。この場合はパージする際に残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことで残留ガスを排除しやすい利点がある。

また、バルブ 2 3 A および 2 3 C を開放してバルブ 2 4 A を閉鎖してターボ分子ポンプ 2 3 B を排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

- 5 このように、図 1 3 の基板処理装置 2 0 A を使うことにより、被処理基板 W の表面に非常に薄い酸化膜を形成し、その酸化膜表面をさらに窒化することが可能になる。

前記した基板処理装置 2 0 A を用いて、先の実施例で前記したパージガスを用いて残留酸素の影響を抑える方法を以下に示す。

- 10 図 1 6 A、図 1 6 B は、それぞれ図 1 3 の基板処理装置 2 0 A を使い、本発明の第 8 実施例による、被処理基板 W のラジカル酸化を行う方法を示す側面図および平面図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。本実施例は、本図に示す酸化工程の後の窒化工程において、残留酸素の影響が少なく酸化膜の増膜が少ない方法である。

- 15 図 1 6 A、図 1 6 B を参照するに、本実施例の場合は前記図 1 4 A、図 1 4 B に示した場合と同様に被処理基板 W の表面の酸化を行うが、前記図 1 4 A、図 1 4 B の場合と異なる点は、前記処理ガス供給ノズル 2 1 D から前記処理空間 2 1 B に、酸素などの酸素ラジカル形成のための処理ガスが供給される際に、前記リモートプラズマ源 2 6 より、例えば Ar などのパージガスが前記処理空間 2 1 B
20 に供給されることである。前記したパージガスが供給される以外は、図 1 4 A、図 1 4 B の場合と同一である。

- 前記したように、シリコン基板を酸化する工程では、酸素ラジカルを用いるため、前記処理空間 2 1 B では前記ガス供給ノズル 2 1 D から供給された処理ガスが活性化されて、酸素ラジカルが形成される。その際に、前記リモートプラズマ
25 源 2 6 の前記ガス出口 2 6 c より酸素ラジカルや、酸素を含む生成物が逆流して進入してしまう場合がある。

このように、酸素ラジカルや酸素を含む生成物が逆流してしまうと、例えば図 1 5 A、図 1 5 B に示す窒化工程において、ベース酸化膜の増膜や、窒素濃度の低下といった問題を引き起こす場合がある。

そのため、本実施例では前記リモートプラズマ源 26 より前記処理空間 21 B にパージガスを導入して、酸素や、酸素を含む生成物が前記リモートラジカル源 26 に逆流するのを防止している。

また、前記したようなりモートプラズマ源 26 へ逆流した酸素や酸素を含む生成物を排除するために、例えば真空パージや不活性ガスによるガスパージを行う方法がある。

例えば真空パージは、前記した酸化工程終了後に、前記処理空間を低圧（高真空）状態に排気して、前記処理空間 21 B や前記リモートプラズマ源 26 に残留した酸素を除去する方法である。

10 ガスパージは、同様に前記した酸化工程終了後に、前記処理空間 21 B に不活性ガスを導入して前記処理空間 21 B や前記リモートプラズマ源 26 に残留した酸素を除去する方法である。

通常は前記真空パージとガスパージを組み合わせで数回行われる。しかし前記した真空パージとガスパージを行うと、処理時間を要するために、基板処理装置 20 A のスループットが低下して生産性が低下する問題がある。また、真空パージを行うためには、例えばターボ分子ポンプなどの排気速度の大きい高価な排気手段を要するために、装置のコストアップにつながるという問題がある。

本実施例では、装置のスループットを低下させることなく生産性良く、前記したような残留酸素の影響を排除することが可能となる。

20 また、図 16 A、図 16 B に示した酸化工程の後は、図 15 A、図 15 B で前記した窒化工程を行い、ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する。その際に、前記したように前記リモートプラズマ源 26 への酸素の逆流の影響を排除しているため、残留した酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

25 その結果、図 3 で前記した、前記半導体装置 200 において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば 0.4 nm 程度のベース酸化膜 202 と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜 202 A を形成することが可能となる。

なお、本実施例において用いるパージガスは、不活性ガスであれば良く、前記

したArガスの他に、窒素、ヘリウムなど用いることが可能である。

[第9実施例]

次に、本発明の第9実施例として、図3のシリコン基板201上に非常に薄い
ベース酸化膜202を、酸化窒化膜202Aを含めて形成する際に、酸化窒化膜の形
5 成工程でベース酸化膜202の増膜を抑制する別の方法を図17のフローチャ
ートに示す。以下の説明では、基板処理の例として、前記基板処理装置20Aを用
いた場合を示す。

図17を参照するに、まずステップ1（図中S1と表記する、以下同様）にお
いて、被処理基板である被処理基板Wを前記基板処理容器21に搬入し、前記基
10 板保持台22に載置する。

次に、ステップ2で、図14A、図14Bで前記したように、シリコン基板で
ある被処理基板Wの表面を酸化して、シリコン基板表面に1nm以下の膜厚の非
常に薄い酸化膜、特に2～3原子層に相当する約0.4nmの膜厚のベース酸化
膜を、安定に再現性良く形成する。

15 次に、ステップ3において、被処理基板Wを前記処理容器21より外に搬出す
る。

次のステップ4において、前記被処理基板Wが搬出された基板処理容器21に
おいて、当該基板処理容器21内の、残留酸素の除去を行う。前記ステップ2の
酸化工程において、前記処理容器21の内部である処理空間21Bには酸素が供
20 給され、また酸素ラジカルが生成される。そのため、酸素や、例えばH₂Oなどの
酸素を含む生成物などが、前記処理空間21Bや当該処理空間21Bに連通す
る空間に残留している。

そのため、本ステップにおいて前記した酸素や酸素を含む生成物の除去処理を
行う。

25 具体的には、前記処理容器21内から前記被処理基板Wを搬出した状態で、図
15A、図15Bで前記した窒化工程と同様の方法で、Arガスおよび窒素ガス
を前記リモートプラズマ源26によって解離することで生成されるArラジカル
と窒素ラジカルを含む、活性化されたArガスと窒素ガスを前記処理空間21B
に供給して、前記排気口21Aより排気することにより、前記処理空間21Bや

当該処理空間 2 1 B に連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源 2 6 の内部などに残留する酸素や、例えば H_2O などの酸素を含む生成物などを前記排気口 2 1 A より排出する。

- 次に、ステップ 5 において、再び被処理基板 W が前記処理容器 2 1 に搬入され、
- 5 前記基板保持台 2 2 に載置される。

続いて、ステップ 6 において、図 1 5 A、図 1 5 B で前記したように、ステップ 2 においてベース酸化膜が形成された被処理基板 W の表面を、窒素ラジカルによって窒化して酸窒化膜を形成する。この場合、前記ステップ 4 において酸素除去処理が行われるため、酸化膜の増膜の影響を抑えた窒化を行う事が可能となる。

- すなわち、前記処理容器 2 1 内部、前記処理空間 2 1 B および当該処理空間 2 1 B に連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源 2 6 の内部などに残留する、
- 10 ステップ 2 において酸化に用いた酸素および酸素を含む生成物などが除去されるため、本ステップの窒化工程において、ステップ 2 で用いた酸素および酸素を含む残留物によって酸化膜が増膜する、また窒化の際に窒素濃度が低くなってしま
- 15 うという問題を抑制することが可能となる。そのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

その結果、図 3 で前記した、前記半導体装置 2 0 0 において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば 0.4 nm 程度のベース酸化膜 2 0 2 と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜 2 0 2 A を形成することが可能となる。

- 次に、ステップ 7 にて被処理基板 W を前記処理容器 2 1 より搬出して処理を終了する。
- 20

- 一般に、前記したような前記処理容器 2 1 内部、前記処理空間 2 1 B および当該処理空間 2 1 B に連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源 2 6 の内部などに残留する、ステップ 2 において酸化に用いた酸素および酸素を含む生成物な
- 25 どを排除するために、真空パージや不活性ガスによるガスパージを行うことが可能である。

例えば真空パージは、前記した酸化工程終了後に、前記処理空間を低圧（高真空）状態に排気して、前記処理空間 2 1 B や当該処理空間 2 1 B に連通する空間に残留した酸素および酸素を含む生成物を除去する方法である。

ガスパージは、同様に前記した酸化工程終了後に、前記処理空間 2 1 B に不活性ガスを導入して前記処理空間 2 1 B や当該処理空間 2 1 B に連通する空間残留した酸素および酸素を含む生成物を除去する方法である。

- 5 通常は前記真空パージとガスパージを組み合わせて数回繰り返して行われることでその効果を奏することが多い。しかし前記した真空パージとガスパージを繰り返す行くと、処理時間を要するために、基板処理装置 2 0 A のスループットが低下して生産性が低下する問題がある。

- 10 また、真空パージを行うためには、真空パージに有効な、排気速度の大きい高価な排気手段を必要とするために、装置のコストアップにつながるという問題がある。

本実施例では、装置のスループットを低下させることなく生産性良く、前記したような残留酸素の影響を排除することが可能となる。

また、本実施例において前記した基板処理方法は、例えば以下に示すクラスタ型基板処理システムで行う事ができる。

15 [第 1 0 実施例]

図 1 8 は、本発明の第 1 0 実施例による、クラスタ型基板処理システム 5 0 の構成を示す。

- 20 図 1 8 を参照するに、前記クラスタ型基板処理システム 5 0 は、基板搬入／搬出のためのロードロック室 5 1 と、基板表面の自然酸化膜および炭素汚染を除去する前処理室 5 2 と、図 1 3 の基板処理装置 2 0 A よりなる処理室 5 3 と、基板上に Ta_2O_5 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 $ZrSiO_4$ 、 $HfSiO_4$ 等の高誘電体膜を堆積する CVD 処理室 5 4 と、基板を冷却する冷却室 5 5 とを真空搬送室 5 6 で連結した構成を有し、前記真空搬送室 5 6 中には搬送アーム（図示せず）が設けられている。

- 25 本実施例の基板処理方法を行う場合には、まず前記ロードロック室 5 1 に導入された被処理基板 W は経路 5 0 a に沿って前記前処理室 5 2 に導入され、自然酸化膜および炭素汚染が除去される。前記前処理室 5 2 で自然酸化膜を除去された被処理基板 W は経路 5 0 b に沿って前記ステップ 1 において前記処理室 5 3 に導

入され、前記ステップ2において、図13の基板処理装置20Aにより、ベース酸化膜が、2～3原子層の一様な膜厚に形成される。

前記処理室53においてベース酸化膜を形成された被処理基板Wは、前記ステップ3において経路50cに沿って前記真空搬送室56に搬送され、前記被処理
5 基板Wが前記真空搬送室56に保持されている間に、前記ステップ4において、基板処理装置20Aにより第9実施例で前記した酸素除去処理が実施される。

その後、前記ステップ5において、経路50dに沿って再び被処理基板Wが前記搬送室56より前記処理室53に搬送され、前記ステップ6において、前記基板処理装置20Aによりベース酸化膜の窒化が行われて酸窒化膜が形成される。

10 その後、前記ステップ7において経路50eに沿って被処理基板Wが前記処理室53より搬出されて、前記CVD処理室54に導入され、前記ベース酸化膜上に高誘電体ゲート絶縁膜が形成される。

さらに前記被処理基板は前記CVD処理室54から経路50fに沿って冷却室55に移され、前記冷却室55で冷却された後、経路50gに沿ってロードロッ
15 ク室51に戻され、外部に搬出される。

なお、図18の基板処理システム50において、さらにシリコン基板の平坦化処理を、Ar雰囲気中、高温熱処理により行う前処理室を別に設けてもよい。

このように、前記したクラスタ型基板処理システム50によって、第9実施例に前記した基板処理方法が可能となり、窒化工程において前記処理容器21に残
20 留した酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

その結果、図3で前記した、前記半導体装置200において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば0.4nm程度のベース酸化膜202と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜202Aを形成することが可能となる。ベース酸化膜の増膜を押さえ、窒化を促進して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能
25 となる。

また、前記ステップ4における酸素除去処理の際に、前記被処理基板Wを載置する場所は、前記真空搬送室56に限らない。例えば、前記前処理室52や前記冷却室55および前記ロードロック室51など、外気と遮断されて前記被処理基板Wが汚染されたり、酸化されたりすることを防止することが可能でかつ搬送・

5 搬出が可能な空間であればよい。

[第11実施例]

次に、本発明の第11実施例として、先の第10実施例に記載したクラスタ型基板処理システム50を用いて、第9実施例に前記した基板処理方法を行ってベース酸化膜を形成し、さらに当該ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成した場合の膜厚と窒素濃度の関係を図19に示す。

また、比較のために、図中には、第9実施例で前記した酸素除去処理を行わず、ベース酸化膜の形成から当該ベース酸化膜の窒化を連続的行った例、すなわち、図14A、図14Bに前記したベース酸化膜形成工程から図15A、図15Bの窒化工程を連続的行った場合の結果も併記した。

15 図19には、前記第9実施例記載の基板処理方法を用いた場合を実験D1～D3で、またベース酸化膜の形成から、当該ベース酸化膜の窒化を連続的行った場合を実験I1～I3で記載する。また、前記実験D1～D3の基板処理の条件および実験I1～I3の基板処理の条件を下記（表1）に示す。

表 1

ヘース酸化膜形成				酸素除去処理				酸素化膜形成					
O2		圧力	温度	処理時間					Ar	N2	圧力	温度	処理時間
I1	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	↑				1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	25sec
I2	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	↑				1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
I3	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	↑				1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	180sec
D1	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,10min				1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	25sec
D2	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,10min				1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
D3	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,10min				1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	180sec

前記実験D 1～D 3およびI 1～I 3のいずれの場合もベース酸化膜を形成する条件は同一であり、図1 4 A, 図1 4 Bで前記した方法により、表中に前記した酸素流量、圧力、基板保持台の温度、処理時間で処理を行った。

- さらに実験I 1～I 3の場合、表中に前記した条件のA r 流量、窒素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間により、窒化処理を行った。なお、実験I 1～I 3の場合は、酸素除去処理は行わなかった。

前記実験D 1～D 3の場合、表中に前記したA r 流量、窒素流量、処理時間で第9実施例に記載した酸素除去処理を行い、その後表中に前記した条件で窒化処理を行った。

- 図1 9を参照するに、酸素除去処理を行わない実験I 1～I 3と比べて、第9実施例に前記した酸素除去処理を行った実験D 1～D 3の場合は、ベース酸化膜を窒化する際の膜厚増加が少ないことがわかる。また、窒素濃度が高く、窒化が十分に促進されていることがわかる。

- これは前記したように、酸素除去処理を行うことにより、窒化工程において残留酸素によるベース酸化膜の増膜現象を抑制し、窒化を促進して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となることを示していると考えられる。

[第1 2実施例]

- 次に、本発明の第1 2実施例として、前記基板処理装置2 0 Aを用いて、シリコン基板上にベース酸化膜を形成して、当該ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合に、条件を変化させた場合の膜厚と窒素濃度の関係を、後述する実験X 1～X 5について図2 0に示す。

また、実験X 1～X 5の場合の基板処理条件を下記（表2）に示す。

表2

ベース酸化膜形成					酸素除去処理					酸化窒化膜形成					
パージ	Ar	O2	圧力	温度	処理時間						Ar	N2	圧力	温度	処理時間
X1	0.1slm	0.3slm	0.023Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,5min 搬出・再搬入のみ					1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X2	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec						1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X3	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec						1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X4	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFO Ar:0.8slm,O2:0.005slm,30sec					1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X5	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec						1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec

回転:20rpm

回転:20rpm

前記実験X 1の場合、図1 6 A、図1 6 Bで前記したベース酸化膜形成方法、すなわち前記リモートプラズマ源2 6よりパージガスを導入して酸素の逆流を防止する方法により、表中に前記した条件で、パージガスであるAr流量、酸素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間でベース酸化膜を形成した。その後、図1 5 A、図1 5 Bで前記した方法で、前記の表中のAr流量、窒素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間にて酸窒化膜を形成した。

前記実験X 2～X 5の場合は、図1 4 A、図1 4 Bで前記したベース酸化膜形成方法によって、前記した条件の、酸素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間でベース酸化膜を形成し、図1 5 A、図1 5 Bで前記した窒化方法により、前記した条件の、Ar流量、窒素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間にて酸窒化膜の形成を行った。

但し、前記実験X 2の場合は第9実施例に記載の基板処理方法に従い、酸素除去処理を、前記表中の条件のAr流量、窒素流量、処理時間にて行った。

また、前記実験X 3の場合は、ベース酸化膜の形成終了後に一旦ウェハを前記処理容器2 1より搬出し、そのまま処理容器2 1に再搬入のみ行って、その後酸窒化膜形成工程に移行した。

前記実験X 4の場合は、ベース酸化膜形成終了後に被処理基板Wを搬出せず、そのまま窒化工程に移行している。

前記実験X 5の場合は、酸窒化膜形成時の、残留酸素の影響をしらべるため、ベース酸化膜の形成後に一旦被処理基板Wを搬出して、前記基板処理装置2 0 Aにおいて、表中に前記した条件で酸素を導入して酸素ラジカル処理を行い、その後被処理基板Wを再搬入して酸窒化膜形成を行っている。

図2 0を参照するに、膜厚の増加に対する窒素濃度の傾向を見た場合、前記実験X 1の場合と、前記実験X 2の場合がほぼ同様の傾向を示しており、後述する実験X 3～X 5の場合に比べて、窒化工程におけるベース酸化膜の増膜が抑えられ、また窒化が促進して窒素濃度が高くなっていると考えられる。

前記実験X 1の場合、図1 6 A、図1 6 Bに前記したベース酸化膜の形成方法を行うことにより、シリコン基板を酸化する際に、窒化のためのラジカル源である前記リモートプラズマ源2 6への酸素や酸素ラジカルおよび酸素を含む生成物

の逆流を防止している。その結果、ベース酸化膜形成後の窒化工程において、残留酸素や酸素を含む生成物の影響を排除して、ベース酸化膜の増加を抑えて、かつ窒化を促進させた高い窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

また、前記実験X 2の場合は、前記した酸素除去処理により、A r ラジカルと窒素ラジカルを含む、活性化されたA r ガスと窒素ガスにより、前記処理空間2 1 Bや当該処理空間2 1 Bに連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源2 6の内部などに残留する酸素や、例えばH₂Oなどの酸素を含む生成物などを除去し、ベース酸化膜形成後の窒化工程において、残留酸素や酸素を含む生成物の影響を排除して、ベース酸化膜の増加を抑えて、かつ窒化を促進させた高い窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

なお、前記実験X 3とX 4が、膜厚と窒素濃度の関係で、ほぼ同様の傾向を示している。このことから、単に被処理基板Wを前記処理容器2 1から搬出・再搬入するだけでは前記したような残留酸素を除去する効果はなく、前記したような酸素除去処理が必要であると考えられる。

また、残留酸素が窒化の際に及ぼす影響を確認するため、実験X 5の場合にはベース酸化膜形成終了後に、前記処理容器2 1に酸素ラジカルを供給している。実験X 5の場合には、ベース酸化膜の増膜が大きく、また窒素濃度が低いことから前記処理空間2 1 Bおよび前記処理空間2 1 Bに連通する空間に残留した酸素および酸素を含む生成物が、窒化工程の際にシリコン基板を酸化してベース酸化膜の増膜の原因となり、そのために窒化が促進せず、窒素濃度が低いものと考えられる。

また、例えば第9～10実施例記載の基板処理方法を前記基板処理装置2 0を用いて行うことも可能であり、また、第8実施例記載のパージガスを用いて酸素の逆流を防止する方法と、第9～10実施例記載の酸素除去処理を組み合わせ実施することも可能であり、その場合も同様に、酸窒化膜形成工程において、酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

その結果、図3で前記した、前記半導体装置2 0 0において用いる場合に適切

な非常に薄い、例えば0.4 nm程度のベース酸化膜202と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜202Aを形成することが可能となる。

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の特定の
5 実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々
な変形・変更が可能である。

尚、本願は基礎出願である、平成15年3月17日出願の特願2003-72
650号に基づいており、ここに引用することでその内容を組み込むものとする。

請求の範囲

1. 処理空間を画成する処理容器と、
前記処理空間中の被処理基板を保持する回動自在の保持台と、
5 前記保持台の回動機構と、
前記処理容器上、前記保持台に対して第1の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成して前記窒素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第1の側から前記被処理基板を隔て対向する第2の側に流れるように前記処理空間に供給する窒素ラジカル形成部と、
10 前記第1の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成して前記酸素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第1の側から前記第2の側に流れるように前記処理空間に供給する酸素ラジカル形成部と、
前記第2の側の端部に設けられ、前記処理空間を排気する排気経路とを有し、
前記窒素ラジカルおよび酸素ラジカルは、それぞれ前記窒素ラジカル形成部および酸素ラジカル形成部より前記排気経路に向かって前記被処理基板表面に沿った窒素ラジカル流路および酸素ラジカル流路を形成して流れることを特徴とする
15 基板処理装置。
2. 前記窒素ラジカル形成部は、第1のガス通路と前記第1のガス通路の一部
20 に形成されて前記第1のガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する第1の高周波プラズマ形成部とを含み、前記酸素ラジカル形成部は、第2のガス通路と前記第2のガス通路の一部に形成されて前記第2のガス通路を通過する酸素ガスをプラズマ励起する第2の高周波プラズマ形成部とを含み、前記第1のガス通路と前記第2のガス通路とが前記処理空間に連通していることを特徴とする請求の
25 範囲1記載の基板処理装置。
3. 前記窒素ラジカル流路と前記酸素ラジカル流路とが略平行であることを特徴とする請求の範囲1記載の基板処理装置。

4. 前記窒素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心との間の距離が、40 mm以下となるように前記窒素ラジカル形成部を設置したことを特徴とする請求の範囲1記載の基板処理装置。

5 5. 前記酸素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心との間の距離が、40 mm以下となるように前記酸素ラジカル源を設置したことを特徴とする請求の範囲1記載の基板処理装置。

10 6. 前記窒素ラジカル流路の中心と、前記酸素ラジカル流路の中心とが、前記被処理基板の略中心で交差することを特徴とする請求の範囲1記載の基板処理装置。

15 7. 前記窒素ラジカル流路を衝突させて前記窒素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けたことを特徴とする請求の範囲1記載の基板処理装置。

8. 前記酸素ラジカル流路を衝突させて前記酸素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けたことを特徴とする請求の範囲1記載の基板処理装置。

20 9. 処理空間を画成し、前記処理空間中に被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、

前記処理容器に第1のラジカルを、前記第1のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記処理容器の第1の側から前記被処理基板を隔てて対向する第2の側に流れるように供給する第1のラジカル形成部と、

25 前記処理空間に第2のラジカルを、前記第2のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第1の側から前記第2の側に流れるように供給する第2のラジカル形成部とを有する基板処理装置による基板処理方法であって、

前記第1のラジカル形成部より前記処理空間に第1のラジカルを供給して前記被処理基板の処理を行いながら、前記第2のラジカル形成部より前記第2のラジカル形成部をパージするパージガスを前記処理空間に導入する第1の工程と、

前記第 2 のラジカル形成部より前記処理空間に前記第 2 のラジカルを導入して前記被処理基板の処理を行う第 2 の工程とを有することを特徴とする基板処理方法。

- 5 10. 前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第 1 の工程では前記第 1 のラジカルである酸素ラジカルで前記シリコン基板表面を酸化して酸化膜を形成することを特徴とする請求の範囲 9 記載の基板処理方法。
- 10 11. 前記第 2 の工程では前記第 2 のラジカルである窒素ラジカルで前記酸化膜表面を窒化して酸窒化膜を形成することを特徴とする請求の範囲 10 記載の基板処理方法。
- 15 12. 前記第 1 のラジカルおよび第 2 のラジカルは、前記被処理基板の表面に沿って前記第 1 の側から前記第 2 の側へ流れるガスの流れに乗って供給され、前記第 2 の側で排気されることを特徴とする請求の範囲 9 記載の基板処理方法。
- 20 13. 前記第 1 のラジカル形成部は、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成することを特徴とする請求の範囲 9 記載の基板処理方法。
- 25 14. 前記第 1 のラジカル形成部は、酸素ラジカルを形成する紫外光源を含むことを特徴とする請求の範囲 9 記載の基板処理方法。
15. 前記第 2 のラジカル形成部は、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成することを特徴とする請求の範囲 9 記載の基板処理方法。
16. 前記第 2 のラジカル形成部は、ガス通路と、前記ガス通路の一部に形成されて前記ガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する高周波プラズマ形成部とを含むことを特徴とする請求の範囲 15 記載の基板処理方法。

17. 前記パージガスは、前記ガス通路を介して供給されることを特徴とする請求の範囲16記載の基板処理方法。
18. 前記パージガスは、不活性ガスであることを特徴とする請求の範囲9記載の基板処理方法。
19. 処理容器で被処理基板の第1の処理をする第1の工程と、
前記被処理基板を前記処理容器より搬出する第2の工程と、
前記処理容器の酸素除去処理を行う第3の工程と、
10 前記被処理基板を前記処理容器に搬入する第4の工程と、
前記被処理基板の第2の処理をする第5の工程を有することを特徴とする基板処理方法。
20. 前記酸素除去処理では、処理ガスをプラズマ励起して前記処理容器に導入し、当該処理ガスを前記処理容器より排気することを特徴とする請求の範囲19記載の基板処理方法。
21. 前記処理ガスは、不活性ガスであることを特徴とする請求の範囲20記載の基板処理方法。
22. 前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第1の処理は前記シリコン基板表面を酸化して酸化膜を形成する酸化処理であることを特徴とする請求の範囲19記載の基板処理方法。
23. 前記第2の処理は、前記酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する窒化処理であることを特徴とする請求の範囲22記載の基板処理方法。
24. 前記処理容器は酸素ラジカル形成部と窒素ラジカル形成部とを有し、前記酸素ラジカル形成部により形成された酸素ラジカルにより前記酸化処理を行い、

前記窒素ラジカル形成部により形成された窒素ラジカルにより前記窒化処理を行うことを特徴とする請求の範囲 2 3 記載の基板処理方法。

5 2 5. 前記プラズマ励起は、前記窒素ラジカル形成部で行われ、プラズマ励起された処理ガスは前記窒素ラジカル形成部より前記処理容器に導入されることを特徴とする請求の範囲 2 4 記載の基板処理方法。

10 2 6. 前記酸素ラジカルおよび前記窒素ラジカルは前記被処理基板に沿うように流れ、前記処理容器の、前記処理容器内に載置される被処理基板の径方向上前記酸素ラジカル形成部および前記窒素ラジカル形成部に対向する側に設けられた、排気口より排気されることを特徴とする請求の範囲 2 4 記載の基板処理方法。

15 2 7. 前記処理容器は、複数の基板処理装置が基板搬送室に接続されたクラスター型基板処理システムに接続されることを特徴とする請求の範囲 1 9 記載の基板処理方法。

2 8. 前記第 2 の工程において、前記被処理基板は前記処理容器より前記基板搬送室に搬送されることを特徴とする請求の範囲 2 7 記載の基板処理方法。

20 2 9. 前記第 3 の工程において、前記被処理基板は前記基板搬送室に載置されることを特徴とする請求の範囲 2 7 記載の基板処理方法。

3 0. 前記第 4 の工程において、前記被処理基板は前記搬送室より前記基板処理容器に搬送されることを特徴とする請求の範囲 2 7 記載の基板処理方法。

1/19

FIG. 1

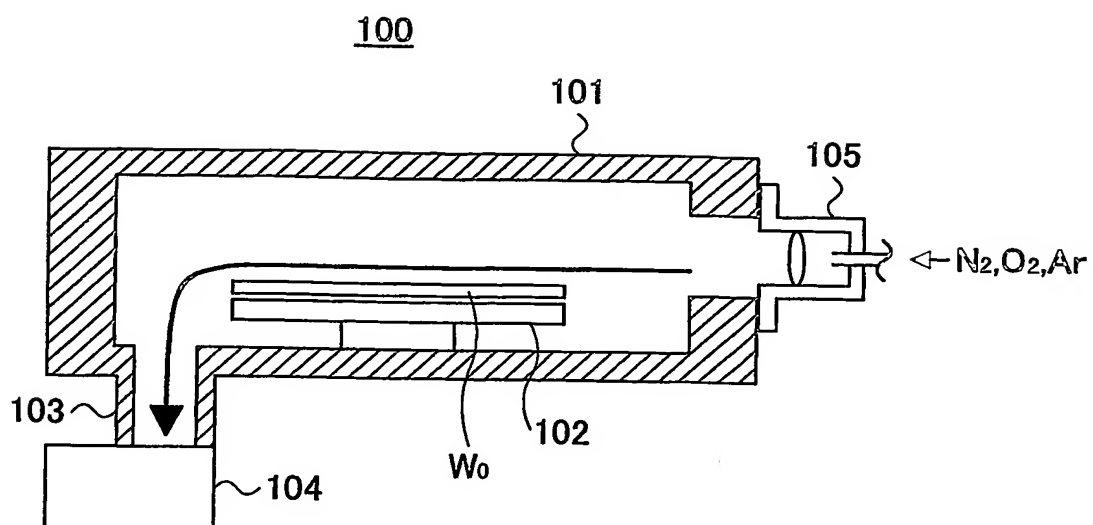
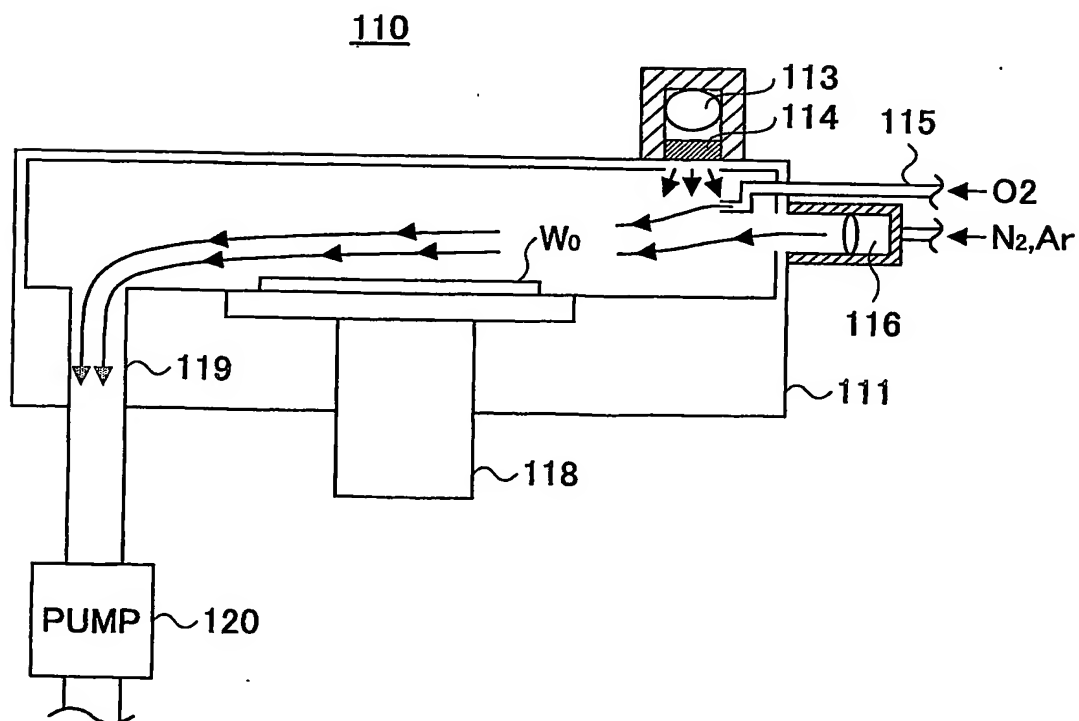


FIG. 2



2/19

FIG.3

200

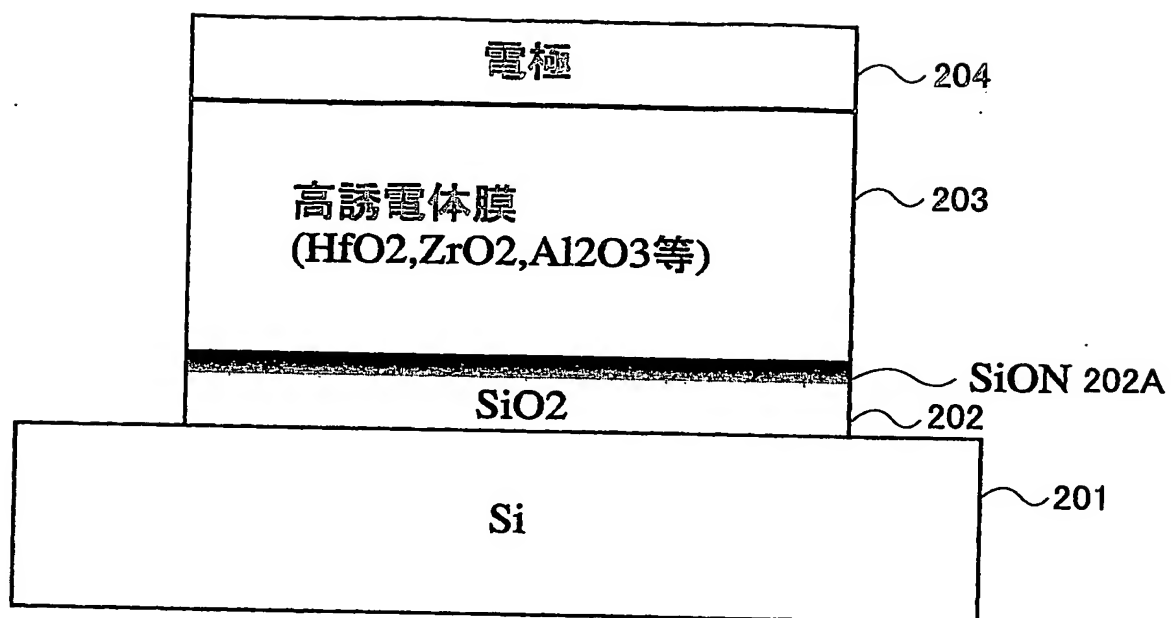
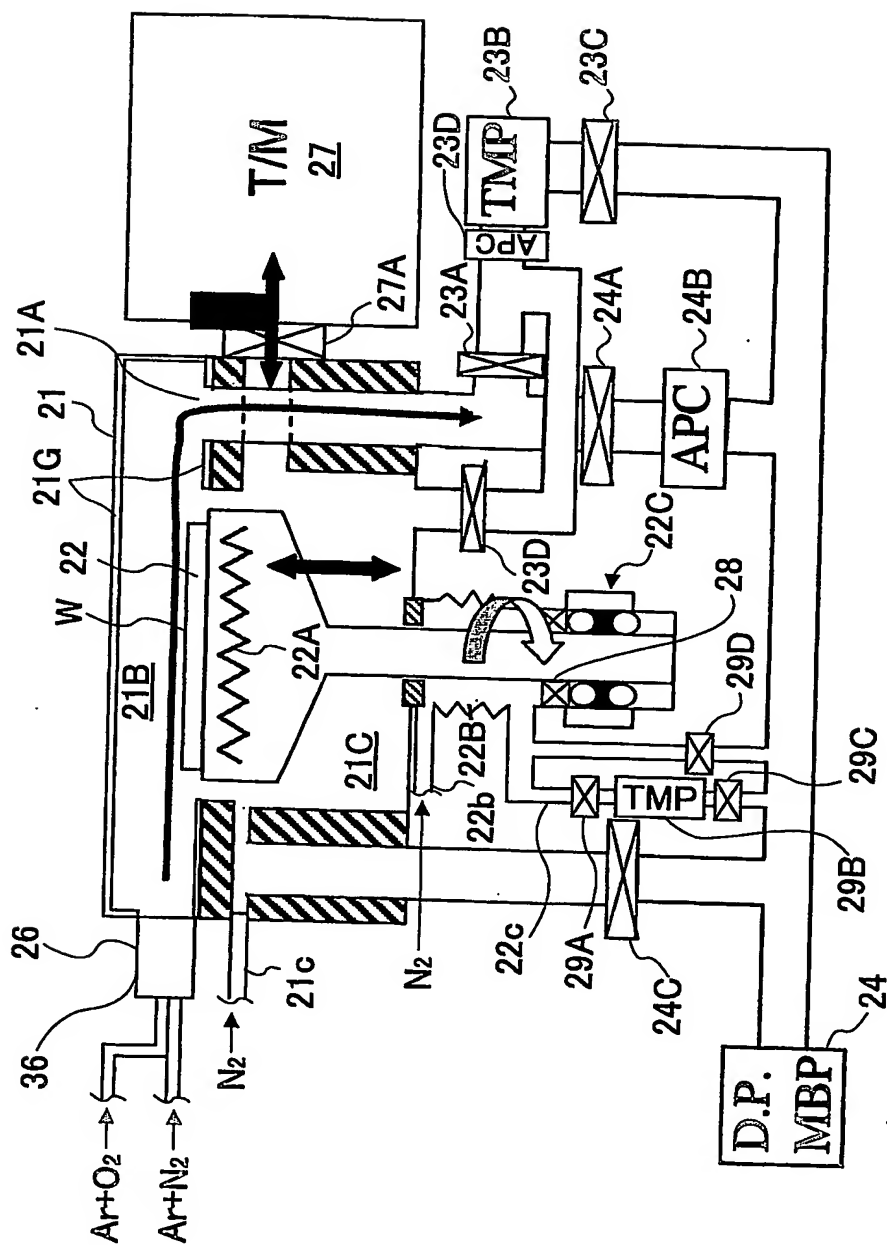


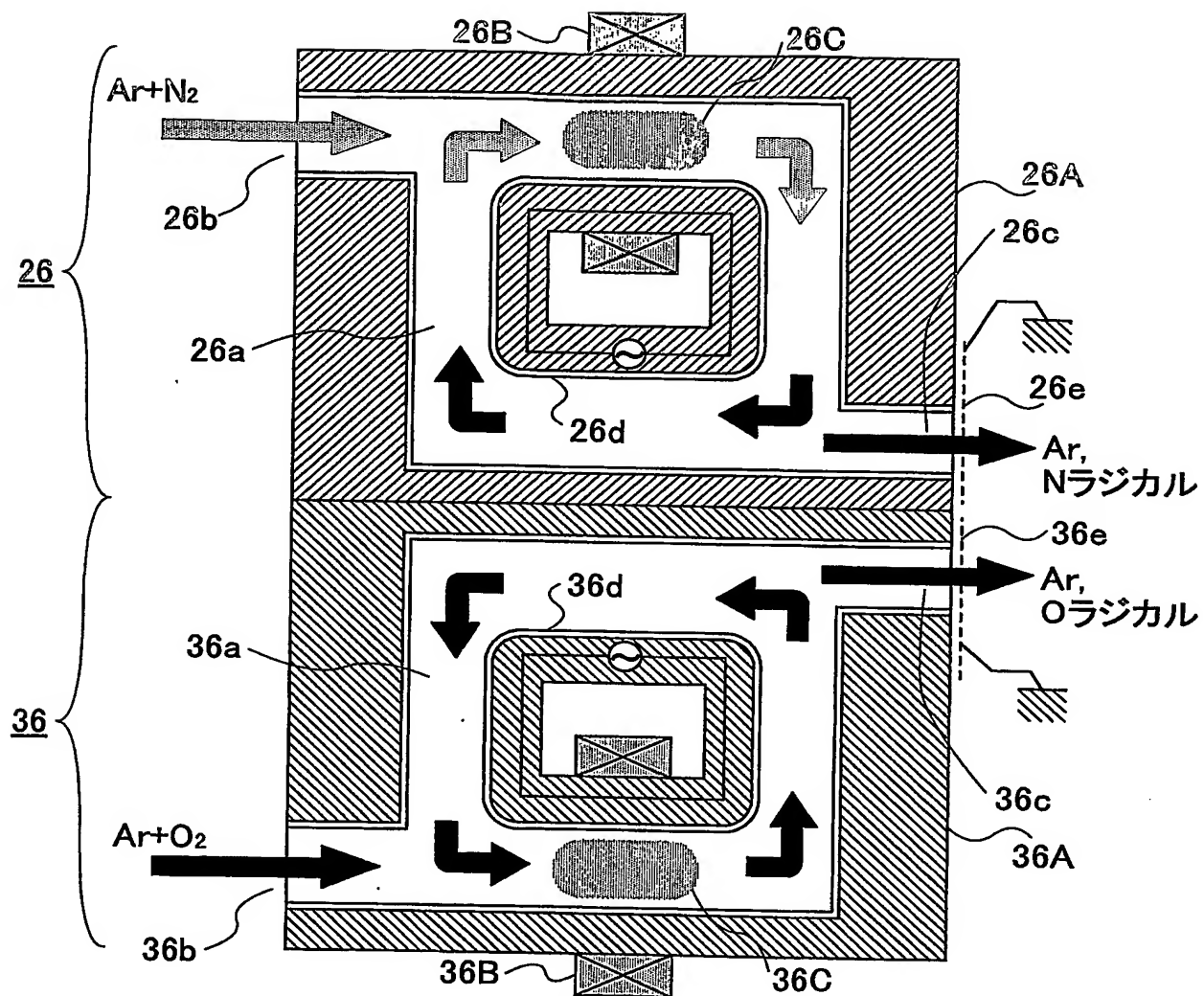
FIG.4

20



4/19

FIG. 5



5/19

FIG.6A

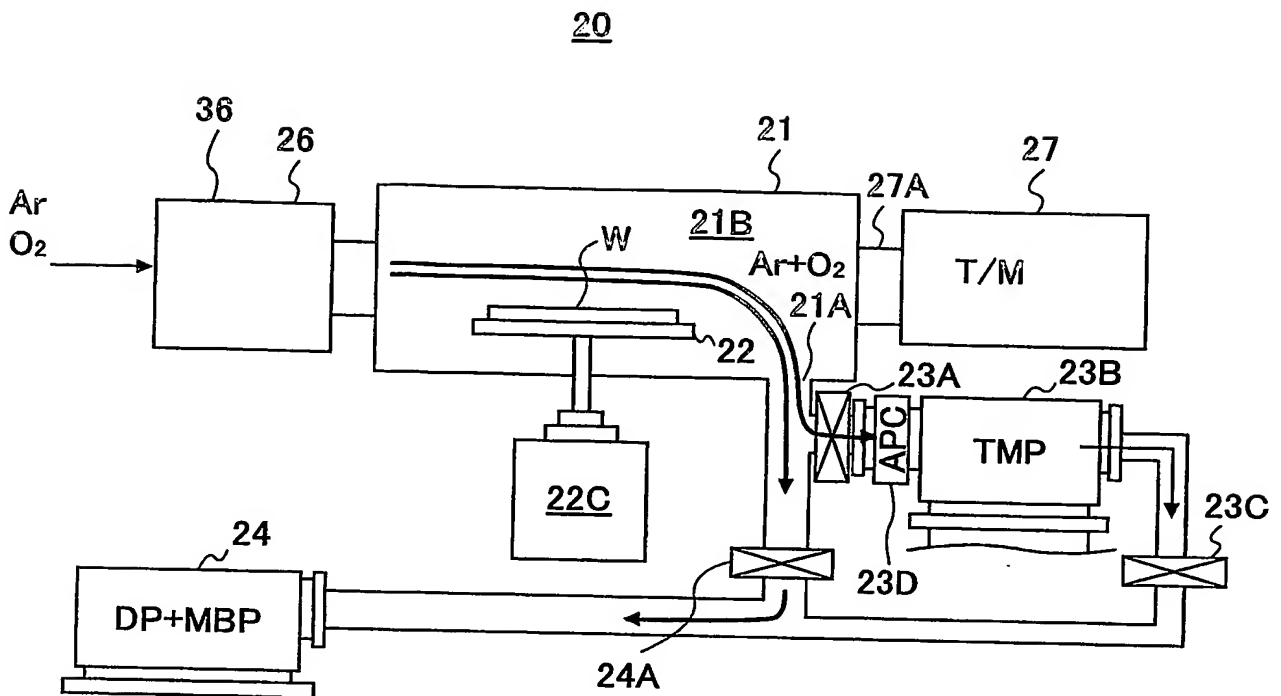
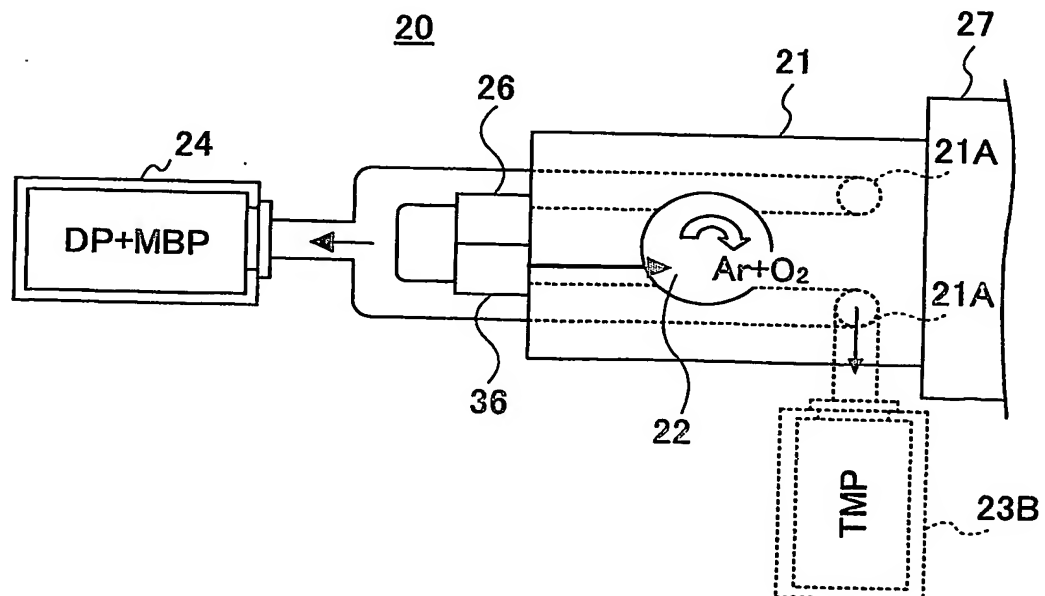


FIG.6B



6/19

FIG. 7A

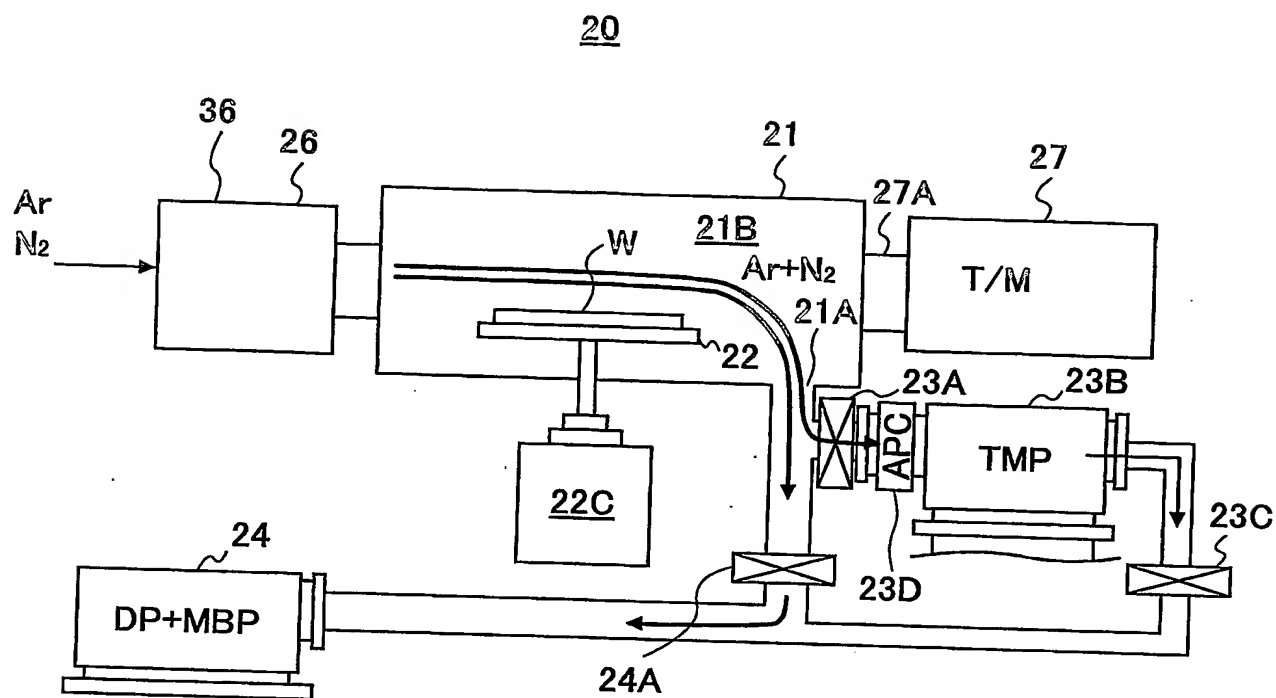
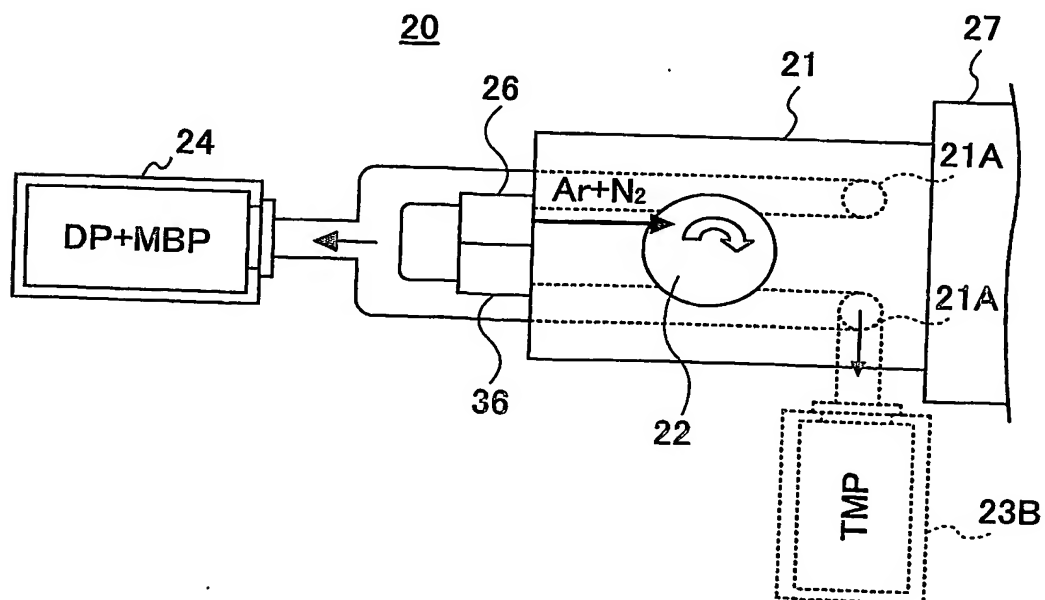
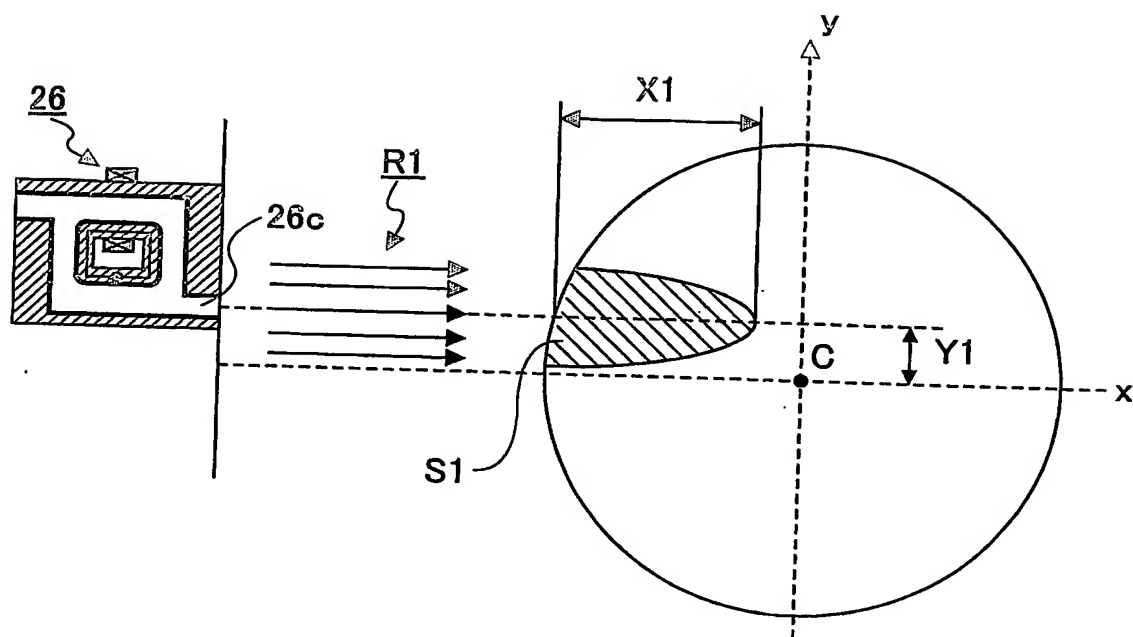


FIG. 7B



7/19

FIG. 8



8/19

FIG.9

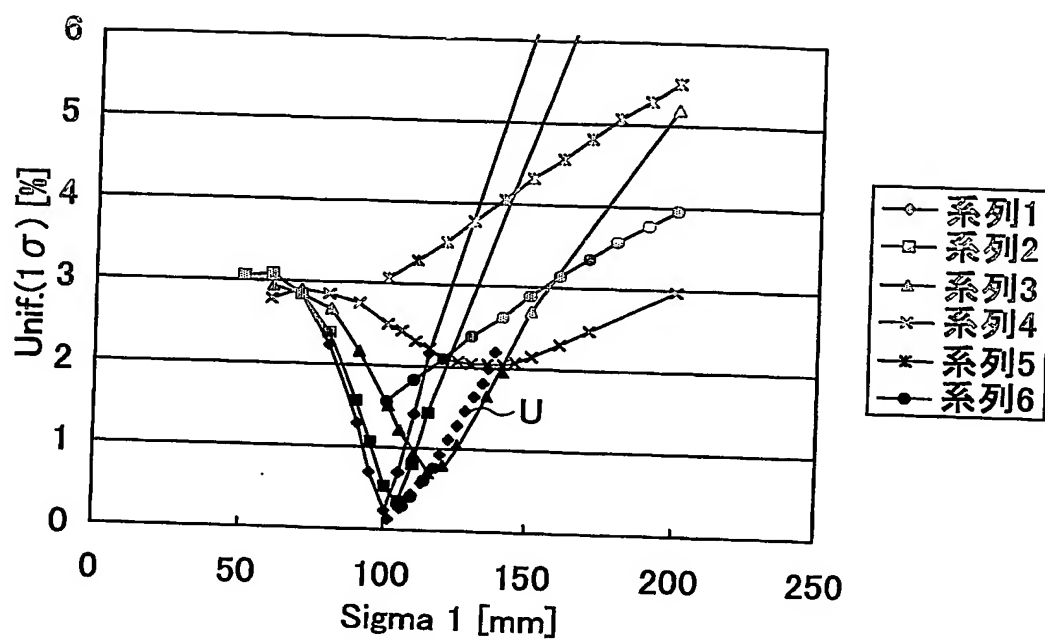


FIG.10A

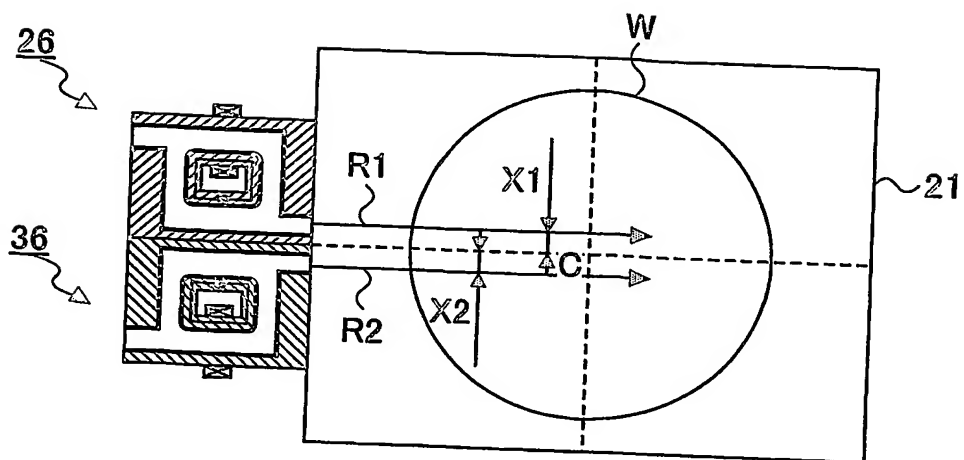


FIG.10B

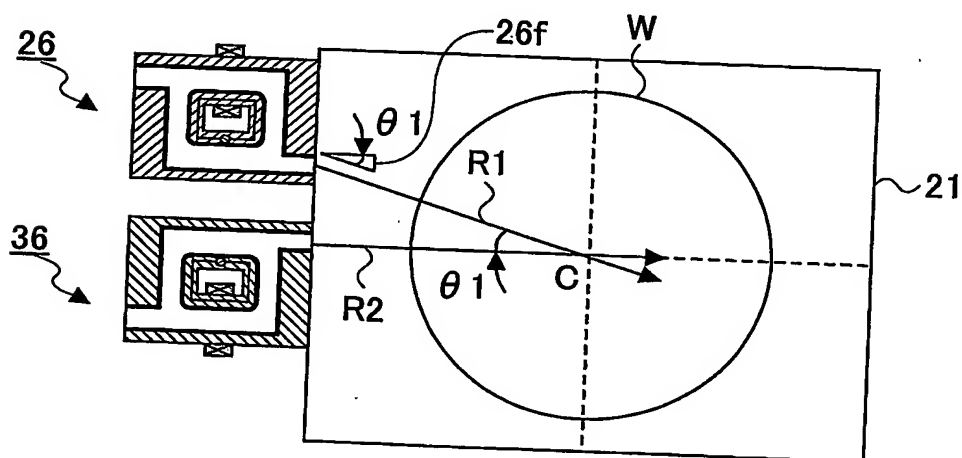
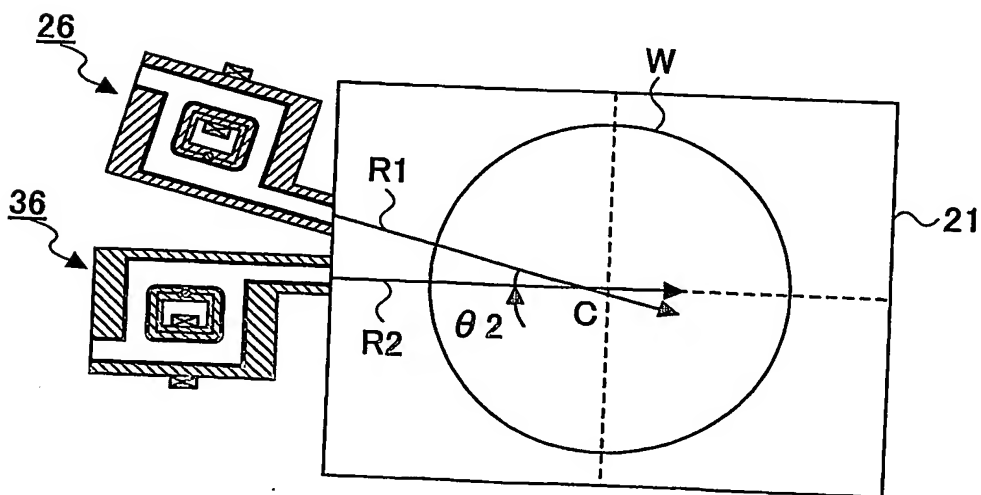
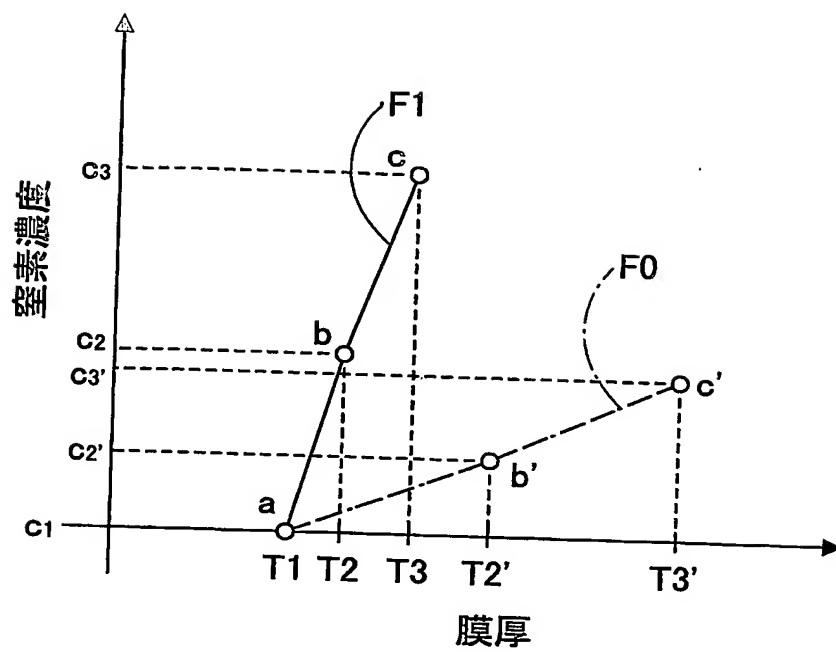


FIG.10C



10/19

FIG. 11



11/19

FIG. 12A

20

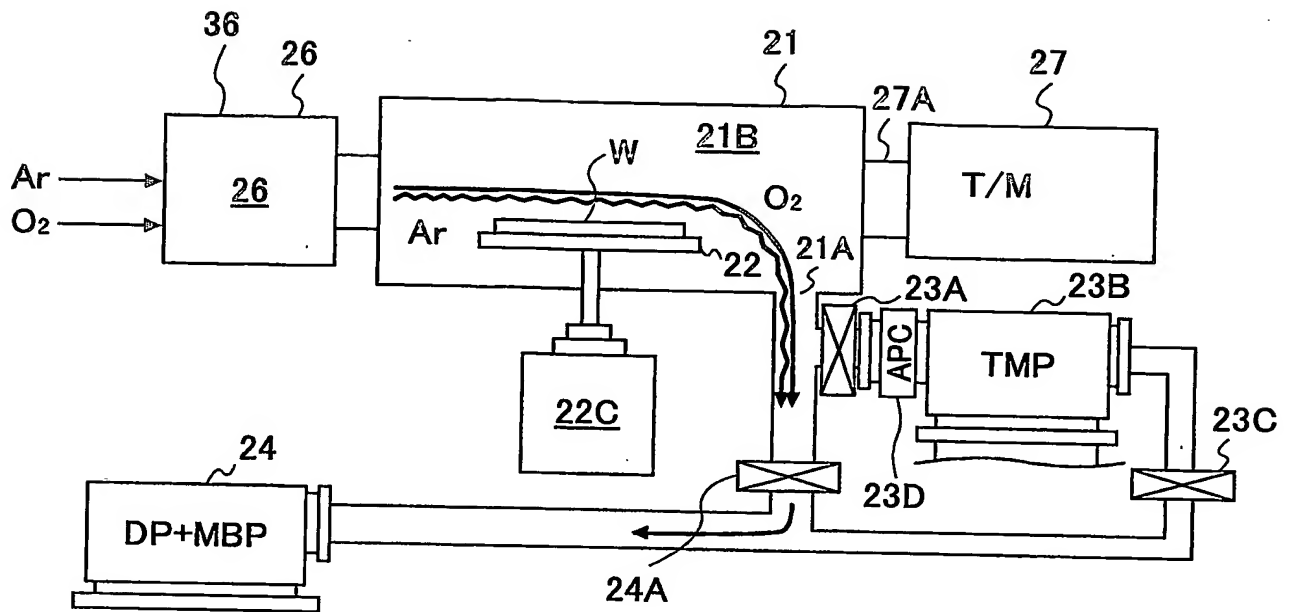
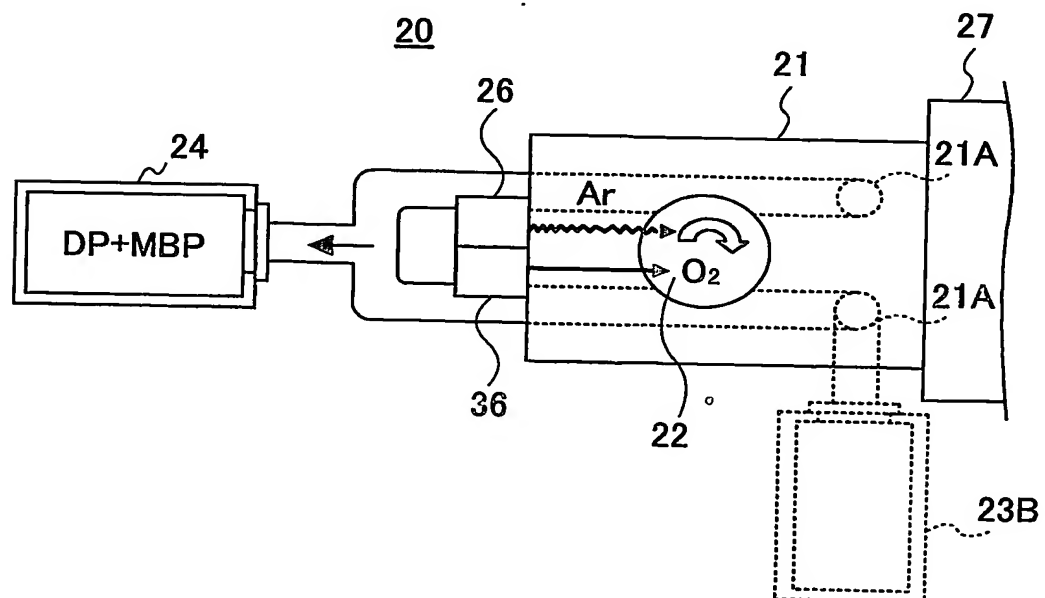
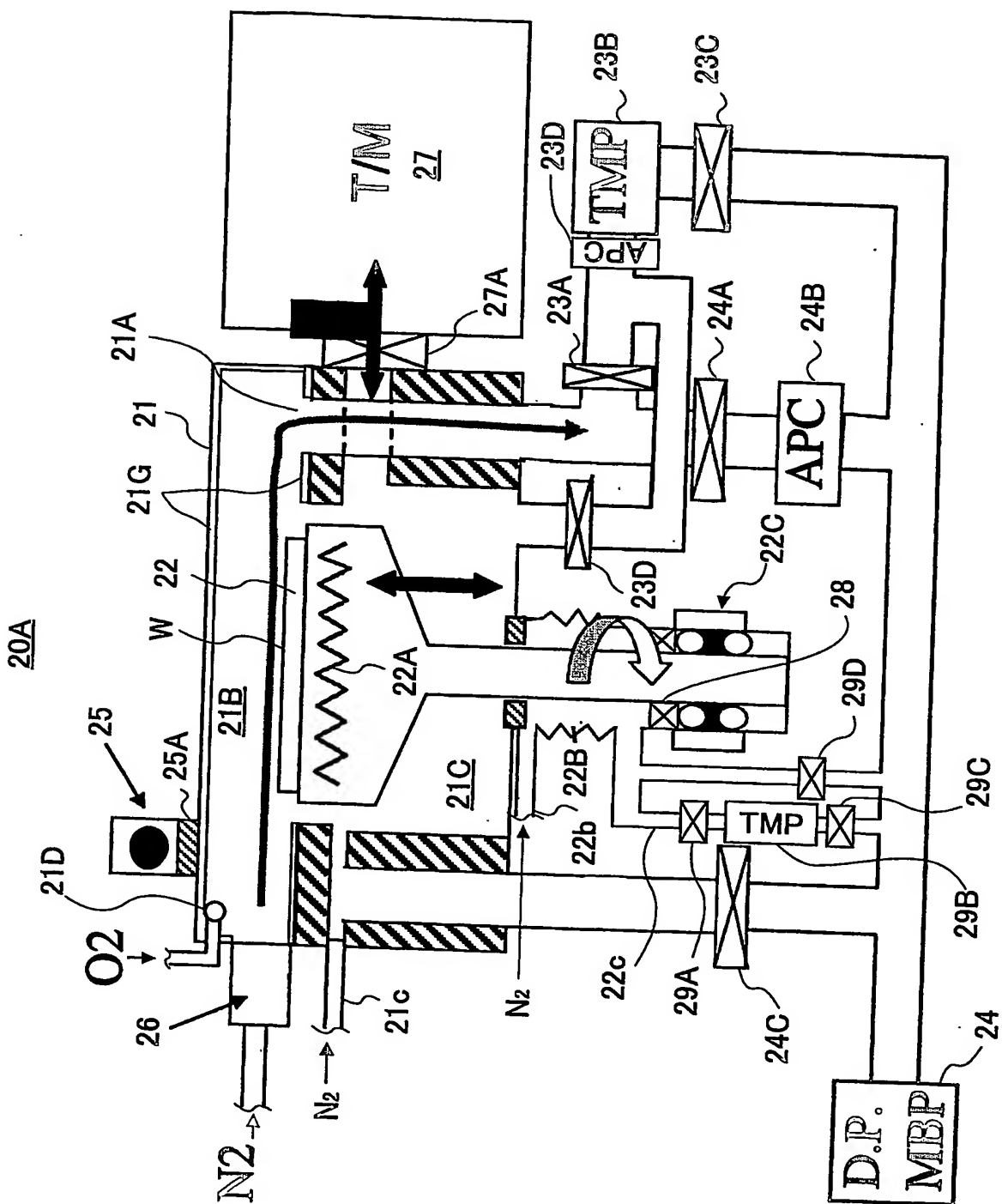


FIG. 12B



12/19

FIG.13



14/19

FIG. 15A

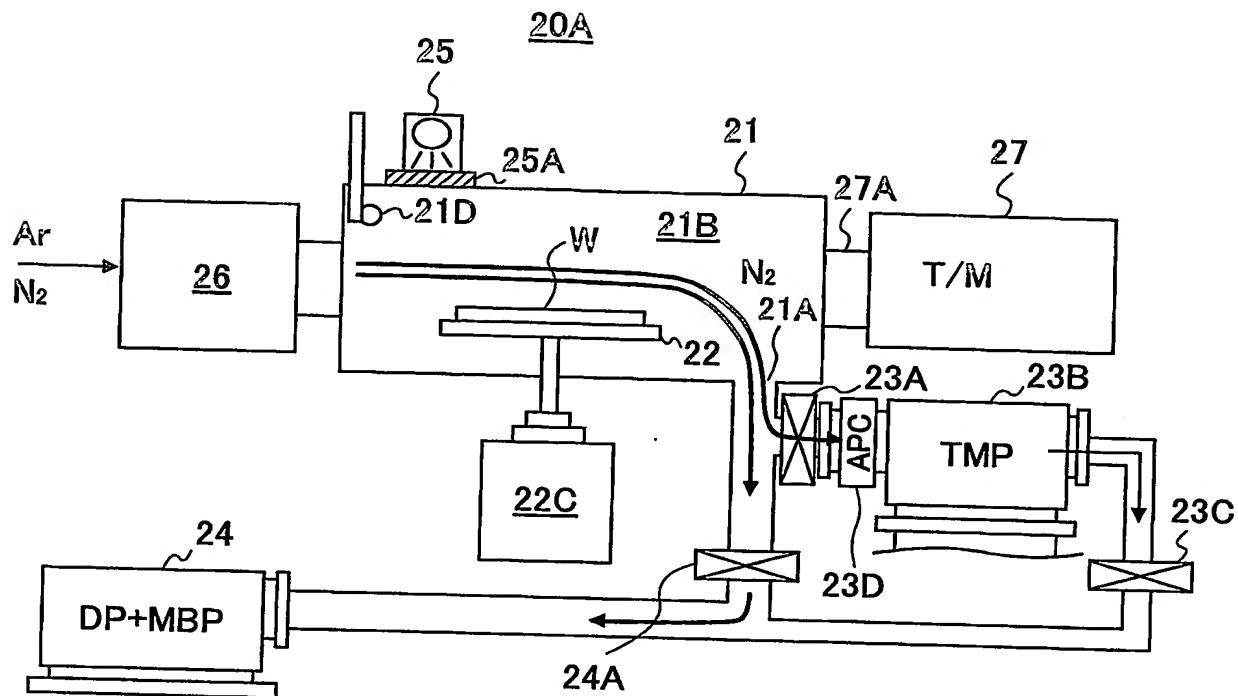
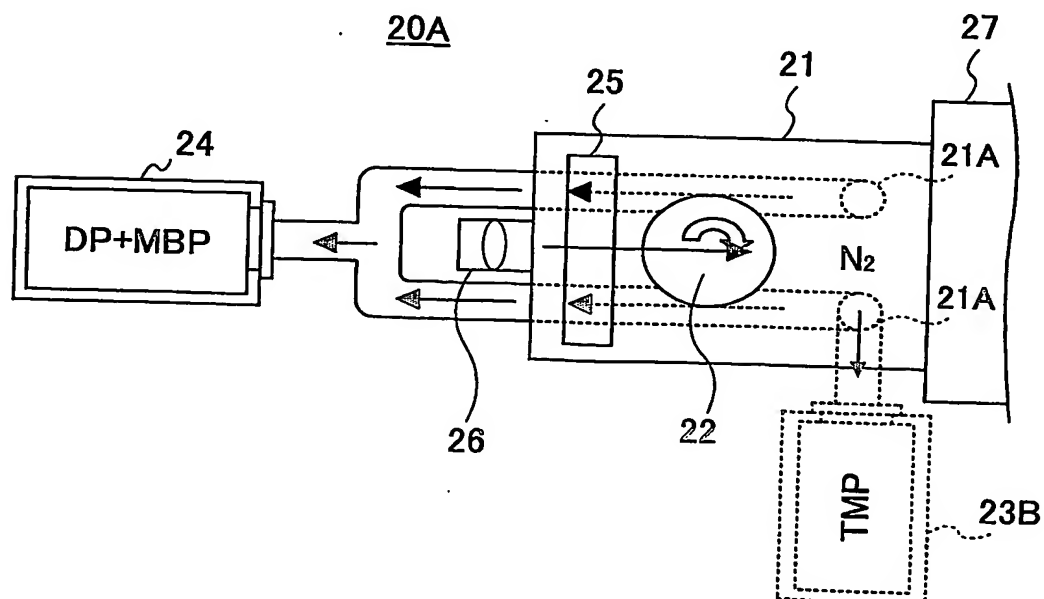
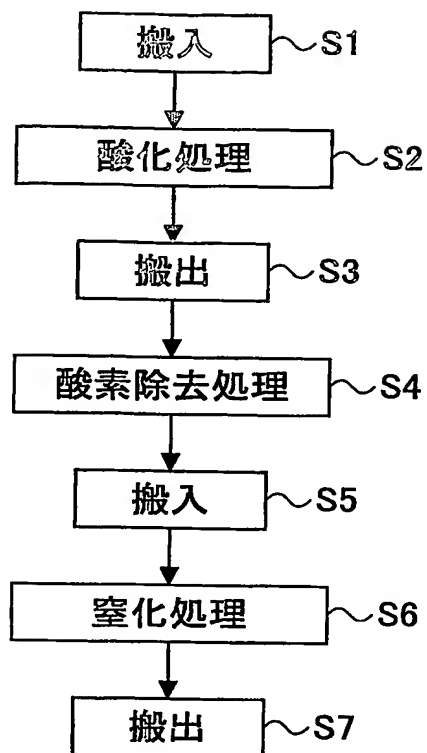


FIG. 15B



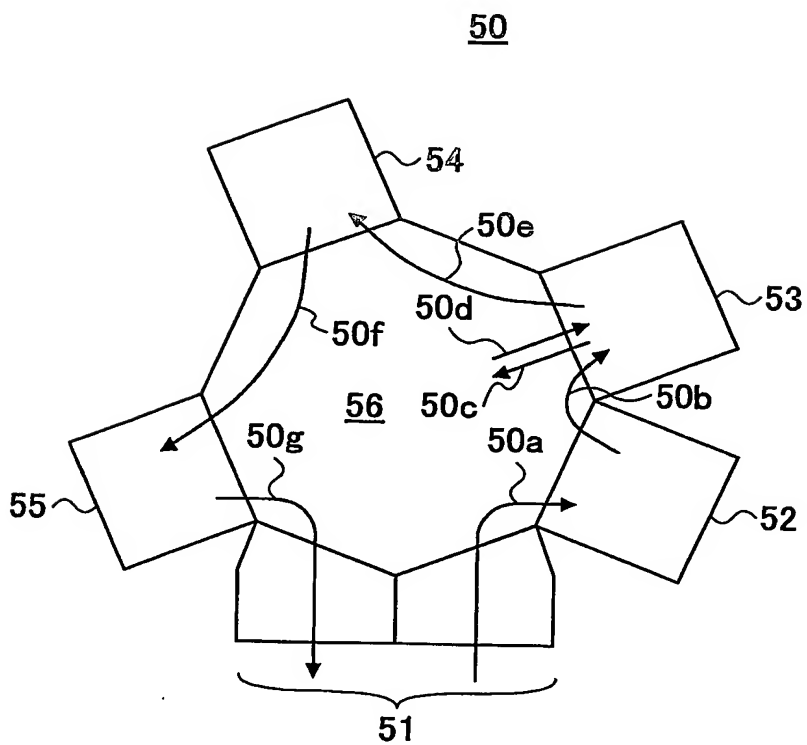
16/19

FIG.17



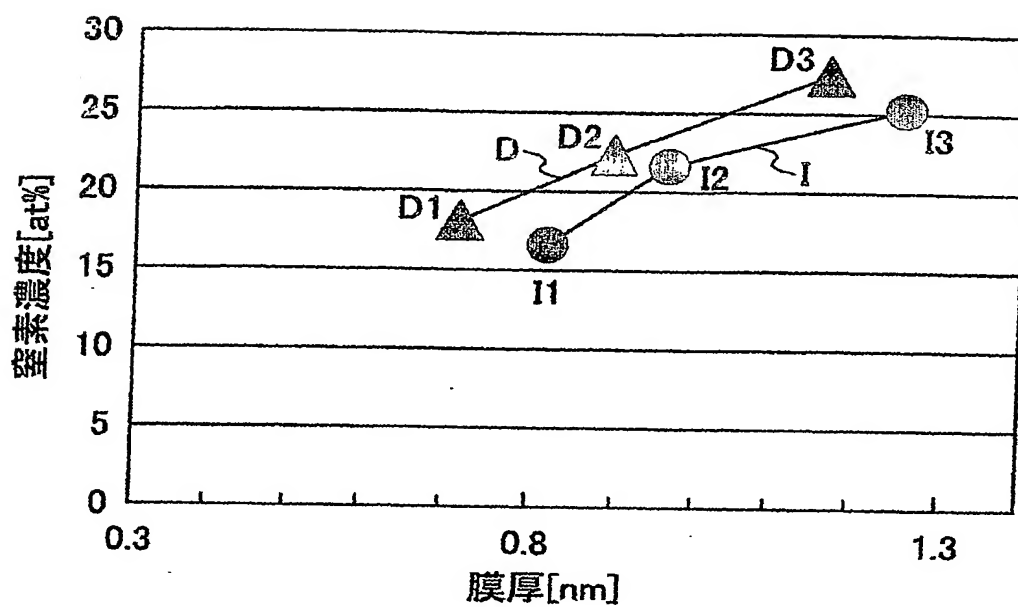
17/19

FIG.18



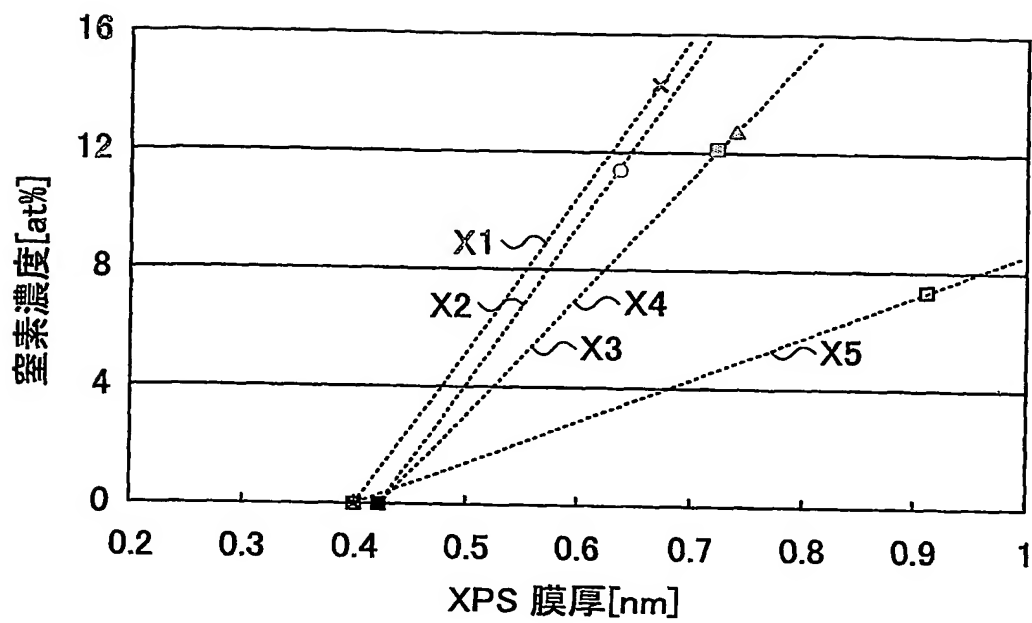
18/19

FIG.19



19/19

FIG.20



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15679

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/31

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L21/31

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 63-27022 A (Hitachi, Ltd.), 04 February, 1988 (04.02.88), Full text (Family: none)	1-30
Y	JP 2000-114240 A (Hitachi, Ltd.), 21 April, 2000 (21.04.00), Full text (Family: none)	1-30
Y	JP 2000-299313 A (Anelva Corp.), 24 October, 2000 (24.10.00), Full text (Family: none)	1-30

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
10 March, 2004 (10.03.04)

Date of mailing of the international search report
13 April, 2004 (13.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15679

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-8395 A (NEC Corp.), 12 January, 1999 (12.01.99), Full text & US 6429456 B1 & US 6566174 B	1-30

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/31

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/31

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 63-27022 A (株式会社日立製作所), 1988. 02.04, 全文 (ファミリーなし)	1-30
Y	J P 2000-114240 A (株式会社日立製作所), 20 00.04.21, 全文 (ファミリーなし)	1-30
Y	J P 2000-299313 A (アネルバ株式会社), 200 0.10.24, 全文 (ファミリーなし)	1-30
Y	J P 11-8395 A (日本電気株式会社), 1999.0 1.12, 全文 & US 6429456 B1 & US 6566 174.B	1-30

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.03.04

国際調査報告の発送日

13.4.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田代 吉成

4R

9448

電話番号 03-3581-1101 内線 3470